



Instituto Politécnico de Tomar
Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Vasco Augusto Amaro Lopes

**Modelos de valorização integrada no apoio à conservação e
gestão de ecossistemas: Caso de estudo da Reserva Natural
do Paul do Boquilobo**

Orientado por:

Doutor Luís Santos, Instituto Politécnico de Tomar
Doutora Cecília Baptista, Instituto Politécnico de Tomar

Tomar / outubro /2019

Projeto apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre
em Sistemas de Informação Geográfica, Planeamento e Gestão do Território.

Dedico este trabalho
aos meus familiares e amigos
que sempre me apoiaram.

RESUMO

As temáticas de conservação, preservação e gestão do Património Natural fazem hoje parte integrante da agenda mediática Europeia e Mundial a par com a temática de alterações climáticas. A necessidade de monitorização e análise do estado de conservação de áreas protegidas, perante o novo sistema de classificação da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), resulta na indispensável atualização de estratégias de planeamento e gestão de áreas protegidas.

Este trabalho de projeto avalia a evolução da vegetação e a qualidade dos habitats na área da Reserva Natural do Paul do Boquilobo, com recurso a tecnologias de informação geográfica e ao modelo de qualidade de habitats do InVEST- Natural Capital Project da Universidade de Stanford.

A recolha e tratamento de dados base recorreu a cartografia produzida em trabalhos anteriores, ortofotomapas, imagens de satélite e trabalho de campo criando uma série temporal de dados para os anos de 2006 a 2019 para a área da Reserva Natural do Paul do Boquilobo.

Os dados recolhidos foram analisados através da utilização do *software* QGIS 3.4, que, para a série temporal de imagens disponíveis, permitiu o cálculo do índice NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Foi também aplicado o modelo de qualidade dos habitats do *software* InVEST, que utilizou o período de 2006 a 2016 para análise de ameaças e sensibilidade de habitats aferindo a sua qualidade. Neste estudo, consideraram-se verdadeiras tendências de alteração, simuladas em cenários futuros de evolução Natural, de Negócio e sob um cenário de alterações climáticas.

Os resultados deste estudo mostram um declínio da qualidade dos habitats mais importantes para a Reserva, em todos os cenários, excetuando o cenário 100% Natural. Para esta deterioração muito contribuem o cenário de alterações climáticas e a ocupação e uso do solo praticados.

Exemplificando a importância conservacionista deste trabalho foi demonstrada a aplicação do modelo à garça boieira (*Bubulcus ibis*), através do estudo da Biologia e Ecologia desta espécie, o que resultou na adaptação da tabela de ameaças e sensibilidade, permitindo a criar cartografia de apoio à decisão na conservação desta espécie.

PALAVRAS-CHAVE: Reserva Natural do Paul do Boquilobo, Sistemas de Informação Geográfico, Habitats, Deteção remota, InVEST, Conservação.

ABSTRACT

Conservation, preservation and management of Natural Heritage alongside climate change are currently part of the European and Global mediatic agenda. The need for monitoring and analysis of protected areas conservation status, under the new International Union for Conservation of Nature (IUCN) classification system, results in the urgent need for management and planning strategies of protected areas.

The work developed in this project assesses the evolution of vegetation and habitat quality in the Paul do Boquilobo Nature Reserve area, using geographic information technologies and the Stanford's University Natural Capital Project InVEST habitat quality model.

The data collection and processing previously produced cartography, orthophoto maps, satellite images and field work creating a data time series from 2006 to 2019 for the Paul do Boquilobo Nature Reserve area.

The data collected was analysed using the QGIS 3.4 *software*, which for the temporal series of available images allowed the calculation of the NDVI index (Normalized Difference Vegetation Index). The invest *software* habitats quality model, used the period from 2006 to 2016, to analyse threats and habitat sensitivity, calculating quality. In this study, used real trends were used to simulate future scenarios of Natural, Business evolution and evolution under climate change scenario.

The results of this study bring to evidence a decline in the quality of the most important habitats of the reserve, in all scenarios, except for the 100% Natural scenario. Climate change and the land use/land cover are the main contributors for this trend.

Exemplifying the conservationist importance of this work, the application of the model to herons (*Bubulcus ibis*), was based on the study of biology and ecology of this species, which resulted in the adaptation of threats and sensitivity table, enabling the creation of cartography which supports decision in the conservation of this species.

KEYWORDS: Paul do Boquilobo Nature Reserve, Geographic Information Systems, Habitats, Remote sensing, InVEST, Conservation.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível devido ao apoio incondicional de inúmeras pessoas. Quero assim, expressar os meus sinceros agradecimentos às pessoas e entidades que tornaram possível a realização deste projeto.

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, Doutor Luís Filipe Neves Carreira dos Santos e Doutora Cecília de Melo Correia Baptista pela preciosa orientação científica e ajuda ao longo deste projeto.

A todos os docentes, especialmente à Doutora Rita Anastácio e restantes docentes do Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, Planeamento e Gestão do Território, por todos os ensinamentos que me foram transmitidos e por me terem feito crescer, tanto a nível pessoal como profissional.

À Reserva Natural do Paul do Boquilobo e ao seu responsável Arquiteto Fernando Pereira, por ter permitido a realização deste projeto e ter estado sempre disponível ao longo do tempo.

Ao Sr. Carlos Noivo que esteve sempre disponível para nos transportar, guiar pela reserva e ajudar nas saídas de campo.

Às seguintes entidades, agradeço o apoio prestado, indispensável para a realização deste projeto:

Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Tomar;

Reserva Natural do Paul do Boquilobo;

pela total disponibilidade, quer ao nível de equipamento, quer de instalações.

A todos os familiares e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto.

A todos um grande Bem-Haja.

ÍNDICE

RESUMO	III
ABSTRACT	V
AGRADECIMENTOS.....	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIII
INTRODUÇÃO	1
1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	4
1.1 CONSERVAÇÃO DA NATUREZA	4
1.2 ÁREAS PROTEGIDAS	5
1.3 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	8
1.4 CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	10
1.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	12
1.6 DETECÇÃO REMOTA.....	15
1.6.1 Índices de detecção remota.....	19
1.6.2 Imagens de satélite - Programa Sentinel	20
1.7 SOFTWARE INVEST	24
2 METODOLOGIA.....	28
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, RESERVA NATURAL DO PAUL DO BOQUILOBO	33
3.1 ENQUADRAMENTO LEGAL	34
3.2 VALORES NATURAIS.....	36
3.2.1 Monitorização do uso do solo	36
3.2.2 Habitats	39
3.2.3 Fauna.....	41
3.2.4 Flora	44
3.3 CARACTERIZAÇÃO BIOGEOGRÁFICA.....	45
3.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 DETECÇÃO REMOTA	49
4.2 PRODUÇÃO DE DADOS DE ENTRADA	53
4.3 QUALIDADE DOS HABITATS SOFTWARE INVEST.....	65
4.4 CENÁRIOS FUTUROS DA QUALIDADE DOS HABITATS COM O MODELO INVEST	73
4.5 APLICAÇÃO DO MODELO À GARÇA.....	79
5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	87

BIBLIOGRAFIA/ WEBGRAFIA.....	89
Anexo I - REDE NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS	99
Anexo II - TRABALHO DE CAMPO REALIZADO	102
Anexo III - PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E PARTICIPAÇÃO EM SEMINÁRIOS.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas protegidas em Portugal (numeração correspondente à tabela do anexo I)	7
Figura 2 - Tecnologias de Informação Geográfico	8
Figura 3 - As Tecnologias de Informação Geográfica no contexto de projetos SIG	9
Figura 4 - Principais softwares de SIG.....	10
Figura 5 - Áreas fundamentais da Ciência da Informação Geográfica.....	11
Figura 6 - Relação entre a Ciência da Informação Geográfica, a Investigação Científica e a Tecnologia.....	12
Figura 7 - Elementos funcionais que integram um SIG	14
Figura 8 - Princípio básico da recolha de dados.....	16
Figura 9 - Radiação eletromagnética (REM)	16
Figura 10 - Espectro eletromagnético	17
Figura 11 - Tipos de reflexão da radiação electromagnética. A - Reflexão especular; B - Reflexão difusa	18
Figura 12 - Sensores em deteção remota.....	18
Figura 13 - Princípio básico dos sistemas óticos.....	19
Figura 14 - Sentinel 2 (Fonte: ESA, 2019a).....	21
Figura 15 - Modo de disponibilização ao público dos dados do sensor MSI/Sentinel 2 (Fonte: ESA, 2019a)	23
Figura 16 - Relação entre a distância de uma ameaça e a distância efetiva máxima de uma ameaça	26
Figura 17 - Modelo conceptual executado	28
Figura 18 - Conjunto de dados para o modelo de qualidade dos habitats	29
Figura 19 - Interface do software InVEST para o modelo de Qualidade dos Habitats	32
Figura 20 - Localização da RNPB	33
Figura 21 - Evolução da ocupação do solo de 1967, 1990 e 2012 (Godinho et al., 2012)	37
Figura 22 - Habitats da reserva e a ocupação do solo em 2012 (Godinho <i>et al.</i> , 2012)	41
Figura 23 - Gráfico Termopluviométrico de 1971 a 2000 (Fonte: PC, 2019).....	48
Figura 24 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada referente ao ano de 2016.....	51
Figura 25 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada referente ao ano de 2019.....	52
Figura 26 - Ocupação do solo (LULC_b), ano 2006.....	56
Figura 27 - Gráfico da percentagem de ocupação do solo nas classes LULC b referente ao ano 2006	57
Figura 28 - Ocupação do solo (LULC_c), ano 2012.....	58
Figura 29 - Gráfico da percentagem de ocupação do solo nas classes LULC c referente ao ano 2012	59
Figura 30 - Ocupação do solo (LULC_f), ano 2016	60
Figura 31 - Gráfico da percentagem de ocupação do solo nas classes LULC f referente ao ano de 2016	61
Figura 32 - Gráfico de comparação do LULC_b, LULC_c e LULC_f	62
Figura 33 - Ameaças no cenário atual e futuro	63
Figura 34 - Qualidade atual dos habitats, cenário normal	67
Figura 35 - Qualidade futura dos habitats, cenário normal	68
Figura 36 - Diferença entre o futuro e o atual cenário normal	69
Figura 37 - Gráfico de comparação das áreas de cada classe atual e futuramente	70
Figura 38 - Qualidade atual dos habitats por classes.....	71
Figura 39 - Qualidade futura dos habitats por classes.....	72
Figura 40 - Gráfico Termopluviométrico de 1971 a 2000 e 2011 a 2040 RCP 8.5 (Fonte: PC, 2019)	73
Figura 41 - Qualidade atual dos habitats	74
Figura 42 - Qualidade cenário futuro BUS	76
Figura 43 - Qualidade cenário futuro NAT.....	78
Figura 44 - Imagens ilustrativa da atividade agrícola na envolvente da RNPB (Luis Santos, 2015)	80
Figura 45 - Cenário atual para proteção das garças.....	82
Figura 46 - Cenário futuro para proteção das garças.....	83
Figura 47 - Qualidade atual por classes para proteção das garças.....	84
Figura 48 - Qualidade futura por classes para proteção das garças	85
Figura 49 - Gráfico de comparação das áreas de cada classe atual e futuras para proteção da garça.....	86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Bandas espectrais para os sensores Sentinel 2 (S2A e S2B) (Fonte: ESA, 2019b).....	22
Tabela 2 - Ameaças, distâncias, impactes e tipo de deterioração (Fonte: NCP, 2019b)	30
Tabela 3 - Sensibilidade dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça (Fonte: NCP, 2019b)	31
Tabela 4 - Distribuição da área da reserva pelos vários tipos, nos anos de 1967, 1990, 2012 (Godinho <i>et al.</i> , 2012)...	37
Tabela 5 - Índice de habitats existentes na RNPB (Godinho <i>et al.</i> , 2012)	40
Tabela 6 - Agrupamentos dos habitats para a criação da carta de ocupação do solo (LULC) para aplicar no <i>software</i> InVEST	54
Tabela 7 - Classificação da ocupação do solo	55
Tabela 8 - Ameaças, distâncias, impactes e tipo de deterioração para a RNPB	64
Tabela 9 - Sensibilidades dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça na RNPB	65
Tabela 10 - Classificação da ocupação do solo e reclassificação para o cenário BUS	75
Tabela 11 - Classificação da ocupação do solo e reclassificação para o cenário NAT	77
Tabela 12 - Sensibilidade dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça da garça	79
Tabela 13 - Ameaças, distâncias, impactes e tipo de deterioração para a garça.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

É comum recorrer-se à utilização de siglas e de abreviaturas ao longo do texto

O significado das mesmas encontra-se identificado na lista seguinte (por ordem alfabética)

BUS - Cenário de negócio

CAD - Desenho Assistido por Computador

CGIS - Canadian Geographic Information System

CIG - Ciência de Informação Geográfica

EEA - European Environment Agency

ESA - European Space Agency

ESRI - Environmental Systems Research Institute

ESTT - Escola Superior de Tecnologia de Tomar

GMES - Global Monitoring for Environment and Security

GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélite

GPL - General Public Licence

GRASS - Geographic Resources Analysis Support System

IBM - International Business Machines Corporation

ICN - Instituto da Conservação da Natureza

ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

InVEST - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

IPT - Instituto Politécnico de Tomar

IUCN - União Internacional para Conservação da Natureza

LULC - Land use land cover

MAB - Programa Homem e Biosfera da UNESCO

MSI - MultiSpectral Instrument

NAT - Cenário de naturalização

NCGIA - National Center for Geographic Information and Analysis

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR - Infravermelho próximo

NP - Norma Portuguesa.

NSF - National Science Foundation

PORNPB - Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Paul de Boquilobo.

QGIS - Quantum Sistemas de Informação Geográfico

RBPB - Reserva da Biosfera do Paul do Boquilobo

REM - Radiação eletromagnética

RNAP - Rede Nacional de Áreas Protegidas

RNPB - Reserva Natural do Paul do Boquilobo.

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado por Solo

SIG - Sistemas de Informação Geográfica.

SWIR - Infravermelho de ondas curtas

SYMAP - Synagraphic Mapping System

TIG - Tecnologias de Informação Geográfica

UE - União Europeia

UICN - União Internacional para a Conservação da Natureza

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

VIS - Regiões espectrais do visível

ZEC - Zonas especiais de conservação

ZPE - Zona de proteção especial

ZPEPB - Zona de proteção especial do Paul do Boquilobo

ZPI - Zona de proteção integral

ZUE - Zona de uso extensivo

INTRODUÇÃO

As temáticas de conservação, preservação e gestão do Património Natural fazem hoje parte integrante da agenda mediática Europeia e Internacional. A necessidade de monitorização e análise do estado de conservação de áreas protegidas, despoletado pela crescente pressão antrópica sobre estes ecossistemas e a também maior consciencialização ambiental dos serviços do ecossistema prestados por estas áreas, levou à necessidade de revisão do sistema de classificação. O novo sistema de classificação da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), resulta da urgente necessidade de atualização de estratégias de planeamento e gestão adaptadas às novas realidades de ocupação e uso do solo nas áreas de reserva e zonas periféricas.

O planeamento sistemático em conservação tem como objetivo selecionar as áreas que mais adequadamente representam os objetivos de conservação (Margules *et al.*, 2000). Neste processo estabelecem-se critérios quanto ao nível de proteção desejada para a área em estudo utilizando-se critérios multidisciplinares (Elez *et al.*, 2013). A maioria envolve a caracterização da biodiversidade e divisão do solo em unidades homogéneas e a utilização de ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG) para criar mapas compostos, onde através da sobreposição de camadas podemos ver quais as zonas a serem preservadas devido à sua sensibilidade particular (Geneletti, 2008; Geneletti e Duren, 2008).

A cartografia tem sido tradicionalmente a forma de mostrar o mundo, ou uma zona específica, através de técnicas artísticas e científicas, em que a base é a observação ou levantamento direto da realidade, sendo para isso utilizadas diferentes escalas, diferentes tipos de projeções, orientado a norte ou outra direção, tendo em conta o objetivo do trabalho e do autor, apoiado por simbologia representativa dos tipos de objetos utilizados.

Uma das primeiras representações conhecidas, o mapa da Babilónia do século VI a.C. (Brotton, 2014), difere consideravelmente das tecnologias de informação geográfica, auxiliadas por processos computacionais utilizados nos nossos dias. Esta evolução denota a importância desta tipologia de investigação na inovação e ciência, que hoje tem as mais variadas utilizações, desde que exista um elemento espacial em análise. Hoje as tecnologias de informação geográfica são consideradas indispensáveis para apoiar estratégias de desenvolvimento sustentável dos territórios e para o apoio a políticas de gestão de recursos, de gestão ambiental, de ordenamento do território e de monitorização ambiental.

O Capital Natural da Terra resulta da soma dos Recursos Naturais existentes e dos Serviços Naturais providenciados pelos vários ecossistemas terrestres (Miller Jr., 2007). De

entre estes Serviços Naturais destacam-se aqueles referentes à purificação da água e à transformação dos resíduos, à renovação dos solos, à reciclagem dos nutrientes, à produção de alimentos e combustíveis e ao controlo da população e das pragas. O sequestro de carbono, efetuado sobretudo pelas áreas florestais, é, atualmente, uma questão da máxima importância para a vida e para as economias de todo o planeta. Também o potencial de paisagem e de recreio dos espaços naturais são serviços do ecossistema que apesar de não serem comumente quantificados, são cada vez mais apreciados pelo ser humano que vive em ambientes de constante pressão.

Para avaliar os serviços dos ecossistemas é hoje possível utilizar um *software* específico desenvolvido nos Estados Unidos da América, denominado por InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) que compreende um conjunto de modelos de licença GPL (General Public Licence), de código aberto, usados para mapear e valorizar os bens e serviços naturais que conferem sustentabilidade aos ecossistemas e atividades humanas.

Os modelos InVEST são fundamentados através de bases de dados geográficas, tendo a cartografia como fonte de informação base e produzindo mapas como resultado final. Os modelos criam projeções ilustrativas de cenários futuros pressupondo estratégias de gestão distintas. O InVEST analisa resultados em termos biofísicos e económicos, unidades facilmente interpretáveis por não especialistas. A resolução espacial das análises também é flexível, permitindo que os utilizadores abordem questões em escalas locais, regionais ou globais.

Neste trabalho propõe-se a utilização dos SIG e do modelo de Qualidade dos Habitats do *software* InVEST para aplicação à conservação de uma área protegida pretendendo-se contribuir para a avaliação de alternativas de ocupação e uso do solo. Neste contexto a componente da monitorização de áreas protegidas aliada aos SIG possibilita a produção de indicadores e cartografia permanentemente atualizada, produzindo informações sobre o estado atual de conservação da natureza no território, assim como permite propor medidas minimizadoras dos impactos a que estas estejam sujeitas.

Um dos objetivos específicos que se pretende alcançar é o desenvolvimento de uma metodologia simples e expedita e facilmente replicável no sentido de servir os responsáveis por áreas protegidas na tomada de decisão relativamente ao modelo de gestão e conservação da natureza a adotar, que neste caso será limitado à evolução da vegetação/habitat.

Assim, o objetivo principal deste projeto é identificar geograficamente, com recurso a tecnologia de informação geográfica, a vegetação e a sua evolução nos diferentes habitats que

compõem a Reserva Natural do Paul do Boquilobo (RNPB), analisar a sua qualidade em termos do ecossistema, construindo dois cenários futuros, um deles dedicado à evolução natural e o outro à antropização inerente a uma gestão de negócio.

Para que se possam utilizar os sistemas de informação geográfica é necessária a informação de base, que atualmente podemos adquirir de diferentes modos. Para este trabalho recorreu-se à cartografia produzida em trabalhos anteriores, ortofotomapas, imagens de satélite e trabalho de campo, e assim foi criada uma série temporal de dados para os anos de 2006 a 2019 para a área da Reserva Natural do Paul do Boquilobo.

Os dados recolhidos foram analisados e processados com o *software* QGIS 3.4 com o auxílio do Semi-Automatic Classification Plugin e da função Calculadora Raster que, para a série temporal de imagens de satélite disponíveis, permitiu o cálculo do índice NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Foi também aplicado o modelo de qualidade dos habitats do *software* InVEST, que conjuga os serviços do ecossistema permitindo que os utilizadores comparem padrões espaciais e identifiquem áreas em que a conservação possa beneficiar os sistemas naturais e proteger espécies ameaçadas. Este modelo não tenta colocar um valor monetário na biodiversidade (NCP, 2019b). Para a análise de ameaças e sensibilidade de habitats aferindo a sua qualidade foi utilizado período de 2006 a 2016.

Neste estudo, consideraram-se verdadeiras tendências de alteração, simuladas com base na previsão do RCP 8.5 (alterações climáticas), criando-se cenários futuros de evolução Natural e de Negócio.

O relatório escrito encontra-se organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 dedicado ao enquadramento teórico de todos os conceitos que serão utilizados e aplicados no trabalho de projeto desenvolvido;

Capítulo 2 onde se descreve a metodologia utilizada no decurso da investigação e se definem as variáveis utilizadas no modelo de qualidade de habitat do *software* InVEST;

Capítulo 3 onde se caracteriza a área de estudo, a Reserva Natural do Paul do Boquilobo, apontando em detalhe os seus valores naturais, biogeográficos e bioclimáticos, para além do enquadramento legal;

Capítulo 4 referente aos resultados alcançados e à respetiva discussão;

Capítulo 5 onde se resumem as conclusões obtidas e se tecem algumas considerações finais.

1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

No presente capítulo é realizada uma abordagem aos vários conceitos teóricos relevantes para a compreensão do trabalho desenvolvido. São apresentados os conceitos de Conservação da Natureza, Áreas Protegidas, Tecnologias de Informação Geográfica, Ciência de Informação Geográfica, Sistemas de Informação Geográfica, Detecção Remota e *Software InVEST*.

1.1 CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

A conservação da natureza centra-se na manutenção do bom estado do ambiente natural, incluindo a fauna, a flora, os recursos minerais, as paisagens, os habitats e a biodiversidade, sem, contudo, excluir o uso humano de todos os ecossistemas.

A ação do homem após a industrialização e a utilização desmesurada de recursos naturais contribuíram para o decréscimo crescente da riqueza natural, quer ao nível de fauna, quer de flora (Miller Jr., 2007; Portilho, 2005).

Esta consciencialização assumiu contornos mais complexos nos cenários de alterações climáticas e no equilíbrio do planeta no século XX, dando origem aos primeiros movimentos ambientalistas, que difundiram os resultados negativos da ação humana sobre o ambiente, resultado do desenvolvimento em prol da tecnologia, da exploração dos recursos naturais, do crescimento económico e do consumismo (Melo, 2011).

A ocupação desordenada do território compromete cada vez mais o ambiente, sendo por isso necessário encontrar um modelo de desenvolvimento ajustável às necessidades ambientais (Nilson e Boer, 2015).

A conferência de 1972 das Nações Unidas em Estocolmo, foi a primeira conferência internacional sobre a área ambiental, tornando-se no primeiro grande impulso mundial na defesa do ambiente. Tendo como objetivo a consciencialização da sociedade para a melhoria da sua relação com o ambiente, realçando a *“necessidade de uma visão comum e de princípios comuns de modo a inspirar e guiar os povos do mundo na preservação e melhoria do ambiente humano”* (ONU, 2019).

A partir da década de 90, intensificam-se assim as ações na melhoria e proteção do ambiente, aumentando na sociedade uma consciência ecológica e uma preocupação com os recursos naturais, para que as gerações futuras possam usufruir deles. Foi também a partir desta data que se começaram a realizar inúmeras conferências internacionais de onde resultaram documentos e normativos como a Agenda 21, a Carta da Terra, as Metas do Desenvolvimento

do Milénio, o Pacto Global e o Protocolo de Kyoto. De algumas destas conferências resultaram diversos acordos internacionais relativos à proteção ambiental, com o objetivo de minimizar os problemas ambientais, económicos e sociais em prol de uma melhor qualidade de vida.

Em termos de conservação da natureza existem também a nível internacional várias tipologias que decorrem de diferentes convenções como é o caso da Ramsar, Berna, Bona, entre outras e também o Programa Man & the Biosphere da UNESCO.

1.2 ÁREAS PROTEGIDAS

Uma área protegida corresponde a uma porção de território com valores naturais, culturais e paisagísticos relevantes e singulares de elevado interesse, e como tal, é um espaço associado a múltiplas variáveis. Nesse sentido, tendo em conta as diferentes variáveis associadas a cada espaço, a União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) recomenda na sua nova classificação a existência de 6 tipologias de áreas protegidas (Synge, H, 2000):

(Ia) As Reservas Naturais Restritas, que representam o tipo mais restritivo de áreas protegidas em relação às atividades humanas;

(Ib) As Áreas de Vida Selvagem, onde existem restrições significativas para os humanos, e que devem ser protegidas e geridas para que se mantenha sua condição natural;

(II) Os Parques Nacionais, que geralmente são grandes áreas estabelecidas para proteger a biodiversidade, juntamente com a estrutura ecológica subjacente e apoiar os processos que promovem o lazer, a educação e a ciência. Este tipo de áreas protegidas terá frequentemente zonas onde os regulamentos se assemelham aos de categoria Ia;

(III) Os Monumentos Naturais, ou Áreas reservadas para proteger monumentos naturais, que são muitas vezes áreas de pequenas dimensões, mas sujeitas a um grande número de visitantes, podendo ser locais de características geológicas peculiares, como grutas, formações geomorfológicas ou elementos vivos como florestas ancestrais;

(IV) As Áreas de Gestão de Habitat ou Espécies, que se concentram na proteção de uma espécie ou de um habitat particular. Estas requerem uma gestão de intervenção para garantir uma proteção bem-sucedida;

(V) As Áreas Protegidas de Paisagem Terrestre e Marinha, que são de valor significativo devido à interação desenvolvida entre humanos e a natureza, tendo resultado áreas de características distintas, dotadas de valor biológico, ecológico, cultural ou cénico significativo;

(VI) As Áreas Protegidas para o Uso Sustentável de Recursos Naturais onde a conservação da biodiversidade é o principal foco. O objetivo é preservar a área e também os valores culturais locais, através de um sistema tradicional de gestão de recursos.

Existem 4 tipos diferentes de estruturas de gestão reconhecidas pela IUCN com níveis decrescentes de impacto social (IUCN, 2019):

- 1- Público (gerido pelo estado);
- 2- Governança compartilhada (referindo-se principalmente a estruturas de gestão colaborativa);
- 3- Privado (governança por proprietário privado ou organizações sem fins lucrativos);
- 4- Áreas protegidas governadas por povos indígenas e comunidades locais. (IUCN, 2019)

A nível jurídico, em Portugal, a legislação relacionada com a proteção da natureza tem início com a Lei 9/70 - Proteção da natureza, onde já na altura era previsto que: *“Para proteção da Natureza e dos seus recursos incumbe ao Governo promover:*

- a) A defesa de áreas onde o meio natural deva ser reconstituído ou preservado contra a degradação provocada pelo homem;*
- b) O uso racional e a defesa de todos os recursos naturais, em todo o território, de modo a possibilitar a sua fruição pelas gerações futuras.”*

Com a entrada de Portugal na atual União Europeia (antiga Comunidade Económica Europeia), começou a ser transposta para a legislação nacional, muita da legislação ambiental da União Europeia, tendo em 1987 sido publicada a lei de Bases do Ambiente. Esta lei de bases foi importante para as áreas protegidas, já que existiam algumas áreas que tinham sido criadas por legislação avulsa, e com esta lei é ‘idealizada’ uma rede nacional de áreas protegidas, definindo estatutos nacionais, regionais e locais que as mesmas deveriam ter. Contudo, somente seis anos depois essa ideia foi concretizada, com o Decreto-Lei n.º 19/93, de 23 de janeiro, que é a legislação que cria a Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) em que o antigo Instituto da Conservação da Natureza (ICN), atual Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) é a entidade responsável (ICNF, 2019a).

Atualmente é o Decreto-Lei n.º 142/2008 de 24 de julho (que revogou o Decreto-Lei n.º 19/93) que regulamenta a rede nacional de áreas protegidas que estão classificadas em cinco tipologias, nomeadamente:

- Parque Nacional;
- Parque Natural;
- Reserva Natural;
- Paisagem Protegida;
- Monumento Natural.

A figura 1 mostra as diferentes áreas protegidas de Portugal Continental segundo o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas que se encontram identificadas no Anexo I (ICNF, 2019a).

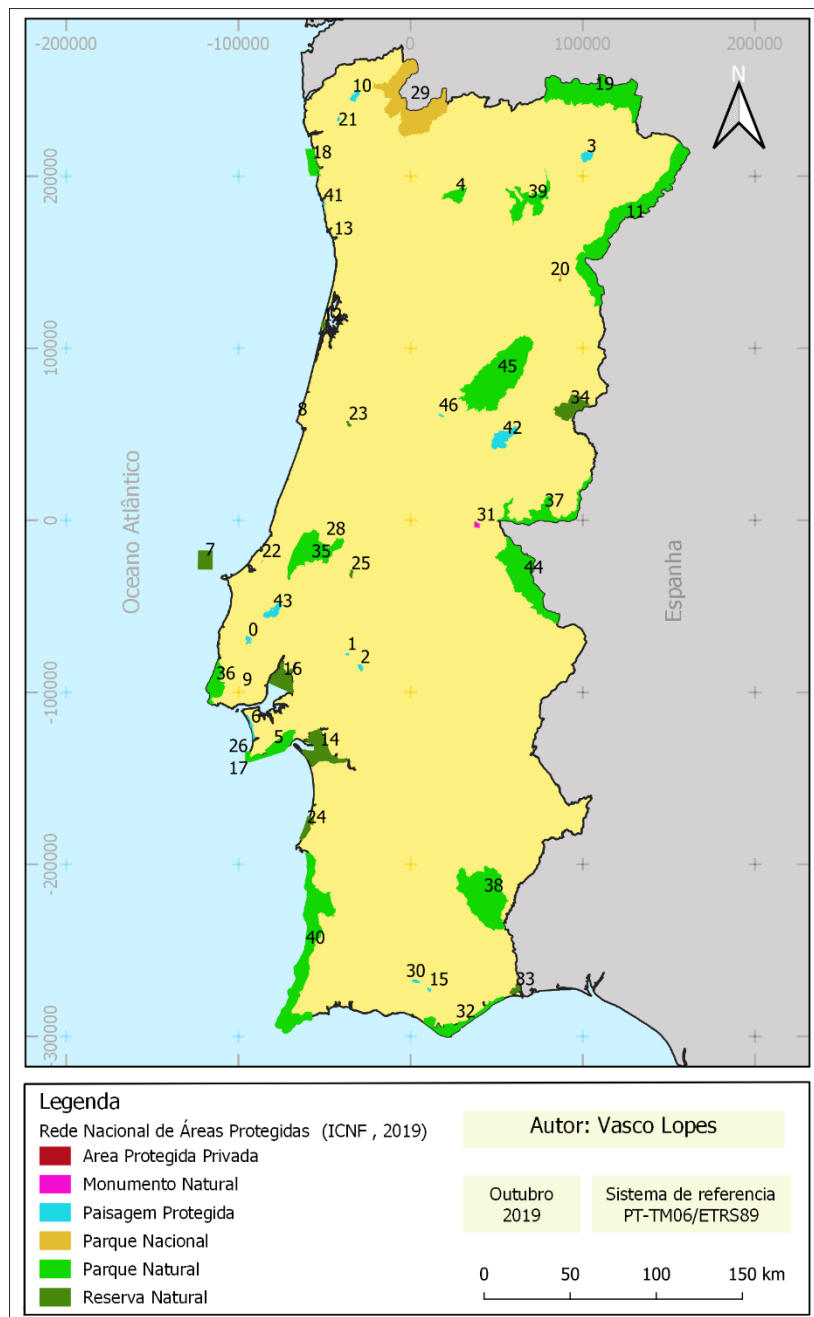


Figura 1 - Áreas protegidas em Portugal (numeração correspondente à tabela do anexo I)

1.3 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

As Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) têm a sua expansão após a 2ª guerra mundial. No entanto, é a partir dos anos 90 do século passado, que com o maior desenvolvimento de equipamentos (*Hardware*) e suporte tecnológico (*Software*) existe uma maior afirmação das Tecnologias da Informação Geográfica, Desktop Mapping, Detecção Remota, GNSS, SIG, CAD e Web-GIS (Julião, 2001) como se enfatiza na Figura 2.

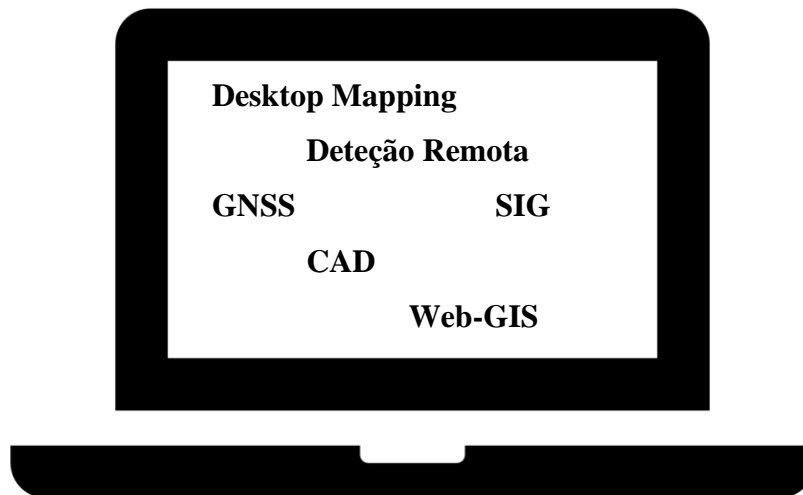


Figura 2 - Tecnologias de Informação Geográfico
(Fonte: Adaptado de: Julião, 2001)

Podemos, então, definir cada um destes sistemas:

- Desktop Mapping – Sistema de produção de cartografia temática e representação de informação geográfica;
- Detecção Remota – Sistema de Processamento de imagem de satélite;
- CAD – Desenho Assistido por Computador;
- GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite;
- SIG – Sistemas de Informação Geográfica;
- Web-GIS – Soluções SIG para utilização via Internet, também referidas como Web-Mapping.

As tecnologias, anteriormente apresentadas, são utilizadas em diferentes fases de desenvolvimento de um projeto SIG. Sendo que o SIG é o único a abranger todas as fases, desde a aquisição, integração, análise e visualização, conforme se demonstra na figura 3 (Anastácio, 2016).

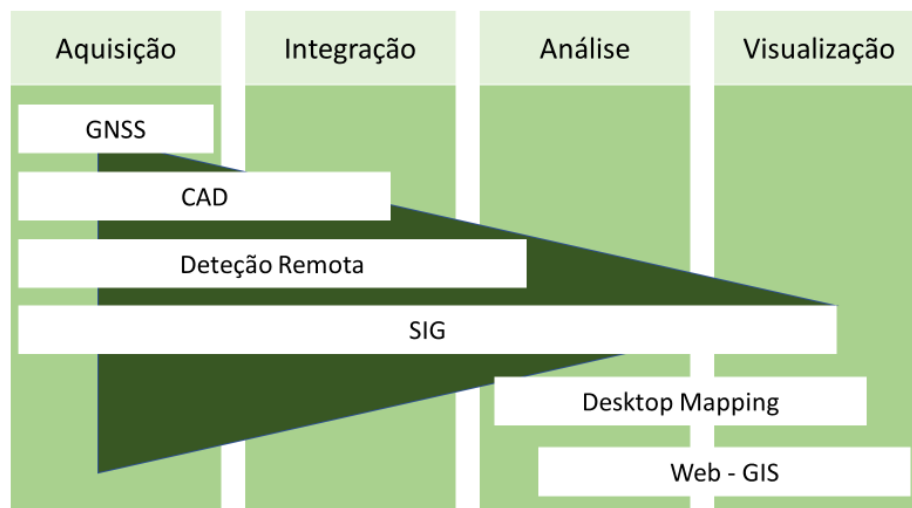


Figura 3 - As Tecnologias de Informação Geográfica no contexto de projetos SIG

(Fonte: Adaptado de Julião, 2001)

Os Sistemas de Posicionamento Espacial, os Sistemas de Deteção Remota e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são os principais tipos das TIG onde atualmente também se incluem os serviços Web-GIS, que estão ligados à divulgação e distribuição da informação geográfica (Julião, 2001).

Uma das primeiras empresas a desenvolver Tecnologias de Informação Geográfica foi a ESRI® (Environmental Systems Research Institute) no início dos anos 70, tendo como objetivo o planeamento territorial, só mais tarde esta empresa desenvolve o primeiro SIG com fins comerciais.

Nos últimos anos tem-se assistido a uma grande evolução no desenvolvimento da tecnologia SIG comercial, assim como das comunidades que se organizam em torno de tecnologia SIG em código aberto (*Open Source*). Neste sentido o mercado tem oferecido as duas áreas da tecnologia, verificando-se um aumento da oferta de projetos e dados em código aberto, com uma adesão significativa em número de utilizadores.

Os *softwares* livres competem com os *softwares* comerciais, desenvolvendo dispositivos e ferramentas capazes de se tornarem competitivos, e que, devido ao baixo custo de utilização, apresentam um crescimento considerável do número de utilizadores. Em termos do mercado comercial também alguns dos *softwares* comerciais já disponibilizam versões de visualização e funções básicas de SIG de acesso livre pela internet (Cosme, 2012). Na Figura 4 apresenta-se a síntese dos principais *softwares* SIG disponíveis no mercado.

Softwares Proprietários	Softwares Livres
<ul style="list-style-type: none">• ArcGIS Desktop• Geometria• Auto CAD• Smallworld• Bentley Map	<ul style="list-style-type: none">• QGIS• GRASS• SAGA• gvSIG• OpenJUMP

Figura 4 - Principais *softwares* de SIG
(Fonte: Adaptado de Cosme, 2012)

Neste sentido, a tecnologia está estritamente ligada aos SIG, já que os SIG se desenvolveram como uma tecnologia de apoio à decisão. Desta forma surge o conceito de Ciência da Informação Geográfica a Ciência de apoio aos Sistemas centrada no conjunto das questões fundamentais dos SIG, aliada à tecnologia digital, tendo apresentado resultados ao longo dos anos e flexibilizado novas motivações na questão da investigação (Goodchild, 1992).

1.4 CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A Ciência da Informação Geográfica (CIG) tem como princípio a pesquisa experimental (investigação científica) para poder explicar os processos espaciais, a partir do espaço geográfico, e assim produzir informação geográfica utilizando a tecnologia SIG como instrumento, para produzir novo conhecimento espacial, contribuindo como um desafio ao pensamento geográfico. A ciência da informação geográfica estuda os temas fundamentais decorrentes da criação, armazenamento, manuseamento e uso da informação geográfica (Goodchild, 1992).

Em 1995, foi proposto à *National Science Foundation* (NSF) por um grupo de investigadores do *National Center for Geographic Information and Analysis* (NCGIA), uma nova visão em torno de três áreas de investigação a que os autores chamam “*Ciência de Informação Geográfica avançada*”:

- Modelos cognitivos do espaço geográfico;
- Métodos computacionais para a representação dos conceitos geográficos;
- Geografias da Sociedade da Informação.

No modelo definido por este grupo de trabalho, a Ciência de Informação Geográfica é representada por um triângulo em que cada um dos vértices representa uma perspectiva: o indivíduo, a sociedade e o computador, sendo que todos eles se relacionam uns com os outros como se demonstra na figura 5.

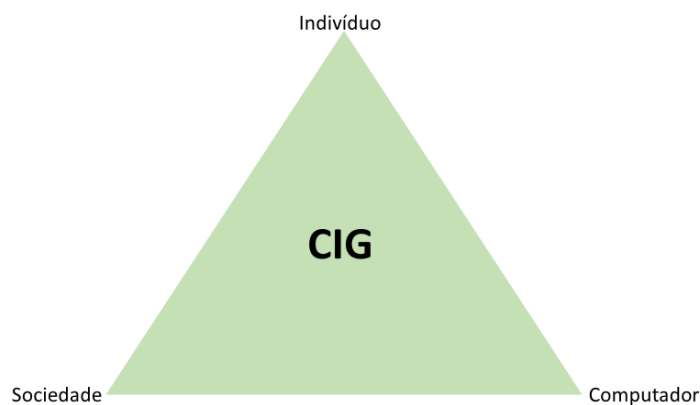


Figura 5 - Áreas fundamentais da Ciência da Informação Geográfica

(Fonte: Adaptado de Longley *et al.*, 2015)

A Ciência da Informação Geográfica permite a criação de conhecimento e sabedoria sobre o espaço que nos rodeia, tendo a capacidade de se ligar a outras ciências, dependendo delas para criar o seu próprio conhecimento, tais como a cartografia, a geodesia, a matemática, a biologia, a estatística, geometria e a topografia, entre outras (Longley *et al.*, 2015).

Por seu lado, a CIG investiga as questões suscitadas pelos SIG e tecnologias associadas, estando estritamente dependentes uma da outra, desenvolvendo uma tecnologia de apoio à tomada de decisão, podendo ser aplicada na resolução de problemas de inúmeras áreas, como por exemplo, no planeamento urbano, nos estudos de impacte ambiental, na análise morfológica, no estudo da vegetação, nos alterações climáticas, na criação de cenários futuros e na prevenção de riscos naturais, (figura 6).

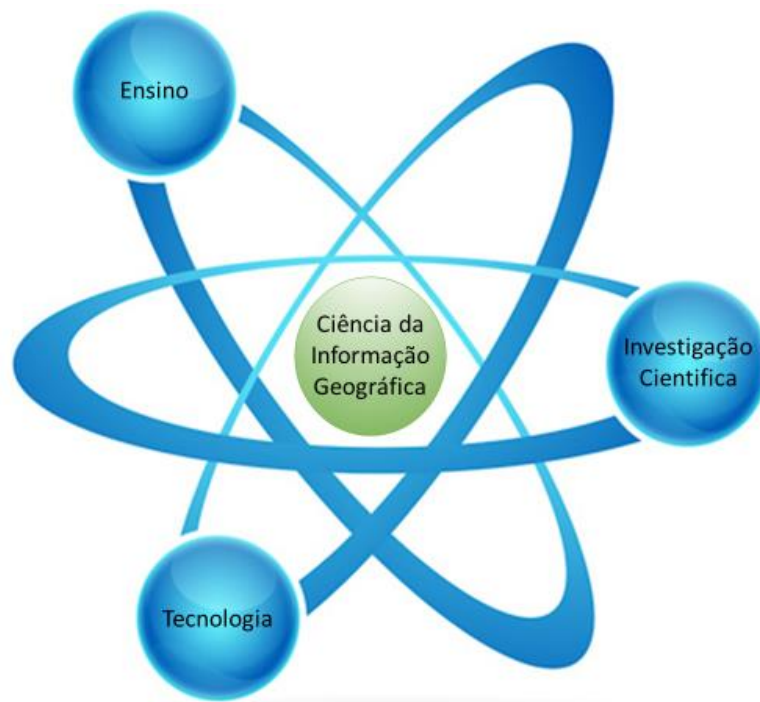


Figura 6 - Relação entre a Ciência da Informação Geográfica, a Investigação Científica e a Tecnologia
(Fonte: Adaptado de Anastácio, 2016)

A ciência de informação geográfica é a base de todo o relacionamento que possa existir entre a investigação, tecnologia e o ensino estado todos interligados

1.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O conhecimento humano ficaria sempre incompleto se não fosse possível definir com exatidão os limites geográficos de determinado acontecimento, pelo que *“Quase tudo o que acontece, acontece em algum lugar. Saber o local onde algo acontece pode ser fundamental”* (Longley *et al*, 2013).

A localização geográfica é o elemento que distingue a informação geográfica de outros tipos de informação. Sem a localização, os dados são denominados como não espaciais, podendo ser associados a dados georreferenciados no âmbito de um SIG. A localização é assim, a base de muitos benefícios dos SIG: a capacidade de cartografar, de medir distâncias, de conjugar diferentes tipos de informação, o que permite uma análise aprofundada de mecanismos naturais e sua ocorrência no espaço, no fundo referenciar e analisar (Matos, 2008).

Os Sistemas de Informação Geográfica têm sido definidos como conjuntos integrados de *hardware* e *software* capazes de desempenhar funções diversas, nomeadamente, a recolha, organização, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados espacialmente

referenciados e desenvolvidos para resolver problemas complexos de planeamento e de gestão (Fernandes, 2007).

O Sistema de Informação Geográfica é um instrumento de trabalho útil para todas as áreas da ciência, desde as engenharias, biologia, ecologia e principalmente no apoio à decisão, nomeadamente para quem tenha de elaborar relatórios ou dar pareceres sobre uma determinada área do seu território.

É na década de 60 que surgem os primeiros avanços na área de produção cartográfica, devido essencialmente a dois fatores que convergiram para o aparecimento do primeiro SIG. Destaca-se, por um lado, a necessidade crescente de recorrer a informação geográfica e por outro, o aparecimento dos primeiros computadores (Olaya, 2011).

O arquiteto norte-americano Howard Fisher em 1963 teve a ideia de utilizar um computador digital para produzir cartografia simples e proceder à sua análise. Posteriormente desenvolveu vários programas de mapeamento dos quais se destaca o *Synagraphic Mapping System* (SYMAP), que foi o primeiro *software* de utilização geográfica difundido com algum sucesso a nível mundial (Goodchild e Kemp, 1990).

O primeiro SIG da história foi atribuído ao Dr. Roger Tomlinson que, devido ao projeto de inventário agrícola do Canadá, desenvolve o CGIS (Canadian Geographic Information System) em colaboração com a IBM (International Business Machines Corporation) em virtude de necessitar de analisar vários mapas (Câmara *et al.*, 1996).

A grande evolução dos SIG revelou-se nos últimos anos, embora tenham surgido nos anos 60. O seu desenvolvimento foi muito lento pois eram suportados por um equipamento sem a capacidade de processamento necessária para o manuseamento da quantidade de informação geográfica, o que constituía um grande impeditivo à sua utilização. Apenas na década de 90 o *hardware* se adequou às necessidades exigidas (Matos, 2008).

Os avanços tecnológicos que se têm verificado nas últimas décadas nos sistemas de informação têm contribuído para o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais eficientes, tais como a deteção remota e o desenvolvimento de modelos avançados de gestão ambiental (Fistikoglu e Harmancioglu, 2002).

Ao longo do tempo e consoante as áreas em que o SIG é aplicado, assim lhe é atribuída uma definição, exibindo em todas uma ligação dos SIG à tecnologia, e tendo em comum a competência de criar, processar, analisar, modelar, gerir e visualizar todo o tipo de informação.

Das várias definições a mais abrangente e funcional para entender os SIG, é a sugerida pela (ESRI) “*An organized collection of computer hardware, software, geographic data, and personnel designed to efficiently capture, store, update, manipulate, analyze, and display all forms of geographically referenced information*”, ou seja, são um Sistema organizado em *hardware, software*, dados geográficos e pessoas, concebido de forma eficiente, para capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciadas (ESRI, 1992).

Esta definição permite entender de forma clara, quais os elementos funcionais que integram um SIG. Como se esquematiza na figura 7, este sistema é constituído por:

- Hardware: corresponde ao equipamento, como o computador pessoal, uma estação de trabalho;
- Software: é o programa de computador utilizado;
- Dados geográficos/informação: são os recursos necessários para qualquer procedimento em SIG;
- Métodos e processamento: conjunto de práticas que analisa e transforma os dados e a informação;
- Pessoas: consistem nos utilizadores dos SIG, desde os profissionais aos amadores.



Figura 7 - Elementos funcionais que integram um SIG
(Fonte: Adaptado de Longley *et al.*, 2015)

Os SIG têm-se revelado uma ferramenta muito útil na gestão e no ordenamento de espaços nomeadamente das áreas protegidas, não só porque conseguem reunir e analisar diferentes informações, mas também porque permitem sustentar o apoio à tomada de decisão. A sua utilização em áreas protegidas tem como objetivo apoiar a análise e monitorização do território e contribuir para a tomada de decisão relacionada com o planeamento, gestão, conservação, caracterização, proteção e reabilitação dos recursos naturais e da biodiversidade.

Partindo da informação base que se insere num SIG é possível analisar o território, de modo a estudar a sua situação atual assim como a planear cenários presentes e futuros.

A correta gestão do território passa pelo cruzamento de diferentes tipos de dados, sendo importante que estes sejam atuais e provenientes de entidades credíveis, e estejam bem catalogados, harmonizados e assim possuam qualidade (Julião, 2001).

A produção de cartografia torna-se assim uma das principais e fundamentais fontes de informação para uma área protegida, os mapas permitem de forma simplificada representar a realidade dos territórios, possibilitando a produção de diferentes tipos de cartografia, em função dos objetivos para os quais é produzida.

Verifica-se cada vez mais a utilização dos SIG no planeamento e gestão das áreas protegidas, assim como no turismo de natureza, pelo que as autarquias, o ICNF e os parques naturais recorrem de forma generalizada à utilização desta tecnologia nomeadamente na produção dos planos de ordenamento dos parques, nas cartas de desporto da natureza, na otimização dos percursos e rotas pedestres, na produção de cartografia sobre os habitats naturais, no levantamento de espécies da flora, fauna e na monitorização dos valores naturais (ICNF, 2019b).

1.6 DETEÇÃO REMOTA

Existem diversas definições de Detecção Remota. A definição que mais se adequa aos propósitos deste trabalho, no nosso entender, é a seguinte:

"Detecção Remota é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contacto com o objeto, área ou fenómeno sob investigação" (Lillesand e Kiefer, 1994).

A aquisição de imagens por detecção remota baseia-se no facto dos objetos na superfície terrestre refletirem radiação eletromagnética (REM) proveniente do sol (Fonseca e Fernandes, 2004). O princípio básico deste processo está esquematizado na figura 8.

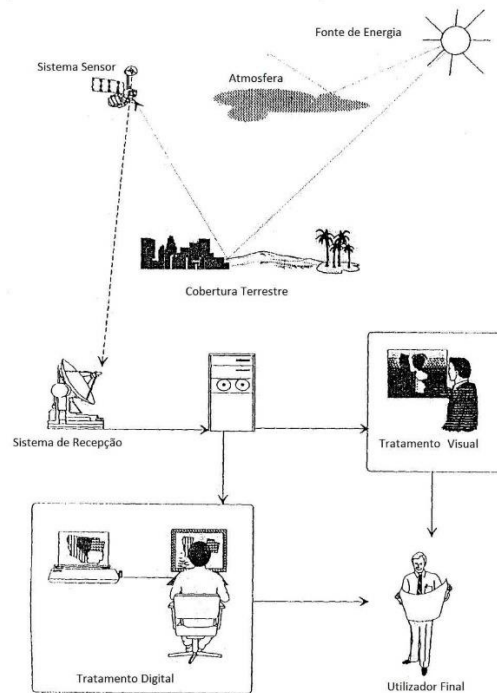


Figura 8 - Princípio básico da recolha de dados

(Fonte: Adaptado de Chuvieco 1995)

Segundo Max Planck a radiação eletromagnética é constituída por partículas, que se designam por fótons. A energia eletromagnética quando interage com um corpo provoca alterações devidas à transferência da energia transportada pelos fótons para os átomos desse corpo.

A radiação eletromagnética (REM) consiste na propagação de dois campos vetoriais, elétrico e magnético, orientados entre si, na forma de uma onda que avança na direção perpendicular ao plano que contém os vetores, como se mostra na figura 9 (Lillesand e Kiefer, 1994).

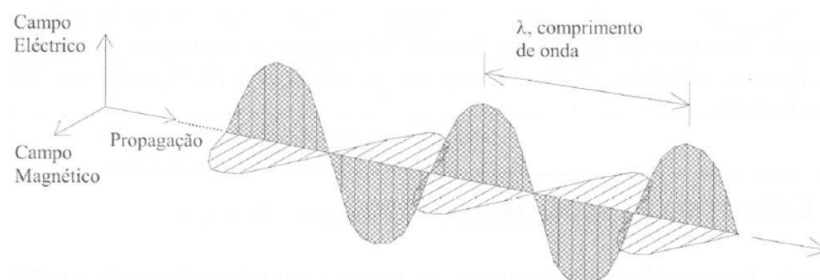


Figura 9 - Radiação eletromagnética (REM)

A radiação eletromagnética apresenta duas características importantes: o comprimento de onda e a frequência. O comprimento de onda corresponde ao comprimento de uma onda de ciclo, que pode ser medido como a distância entre duas cristas de onda sucessivas, sendo medido em nanómetros, micrómetros ou centímetros. A frequência refere-se ao número de

ciclos de uma onda que passa num ponto fixo por unidade de tempo, sendo medida em hertz (CCRS, 2019).

O espectro eletromagnético cobre uma vasta gama de comprimentos de onda (Figura 10), que se estendem desde os comprimentos de onda mais curtos (raios Gama e raios X) até aos comprimentos de onda longos (rádio e micro-ondas) (CCRS, 2019). Este espectro é dividido em sub-intervalos (bandas espectrais) que permitem classificar a radiação eletromagnética (Fonseca e Fernandes, 2004).

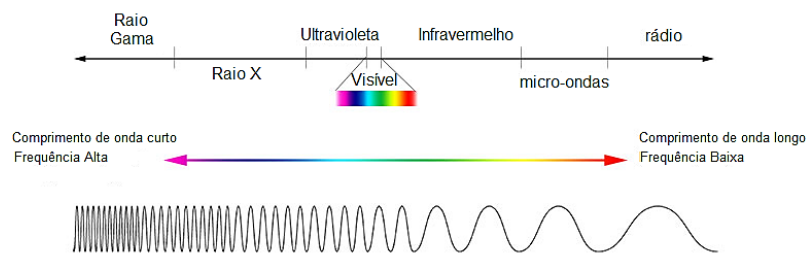


Figura 10 - Espectro eletromagnético
(Fonte: Adaptado de NASA (2019))

Quando a radiação não é absorvida ou dispersa pela atmosfera esta interage com a superfície terrestre através de três formas: absorção, transmissão e reflexão. As proporções de cada forma dependem do comprimento de onda, da energia e do material e condição do alvo (CCRS, 2015).

A absorção verifica-se quando a radiação é absorvida por um determinado objeto enquanto a transmissão ocorre quando a radiação atravessa o objeto. A reflexão acontece quando a radiação é refletida pelo objeto e redirecionada. A reflexão é a forma de interação mais importante para a deteção remota, sendo diferenciada em dois tipos, a reflexão especular (Figura 11-A) e a reflexão difusa (Figura 11-B). A primeira ocorre em superfícies lisas, onde a radiação refletida é unidirecional, como se de um espelho se tratasse. A reflexão difusa acontece quando as superfícies são irregulares e a energia é refletida uniformemente em quase todas as direções (CCRS, 2015).

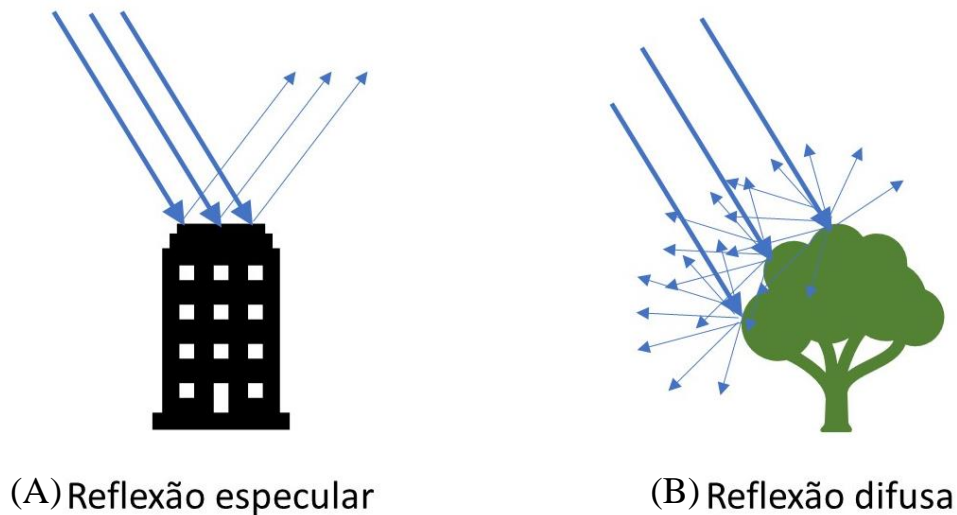


Figura 11 - Tipos de reflexão da radiação electromagnética. A - Reflexão especular; B - Reflexão difusa
(Fonte: Adaptado de CCRS, 2015)

Na deteção remota existem dois tipos de sensores: os ativos, que produzem a sua própria radiação e os passivos que detetam a radiação solar refletida/emitada, como se mostra na figura 12.

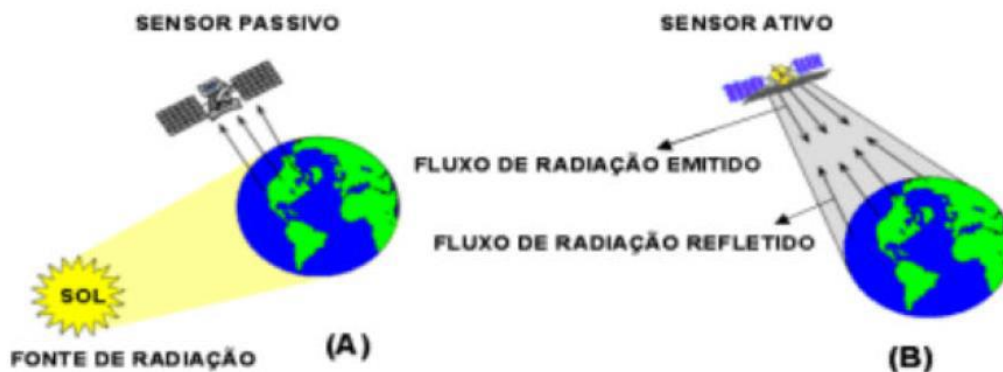


Figura 12 - Sensores em deteção remota
(Fonte: Rabaça, 2001)

A Deteção Remota por satélite baseia-se no princípio de que todos os objetos da superfície terrestre interagem com a energia que recebem do Sol, ou do próprio satélite (no caso de sistemas de Deteção Remota ativos), sob a forma de energia eletromagnética (Rabaça, 2001).

Os sensores óticos utilizam as regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho, correspondentes a comprimento de onda curto para formarem imagens da superfície da Terra através da deteção da radiação eletromagnética solar refletida pelos alvos na superfície como se mostra no esquema da Figura 13 (CRISP, 2019).

Estes são considerados sistemas passivos pois requerem energia solar (Fonseca e Fernandes, 2004). Estes sistemas podem ser classificados como: pancromáticos, multiespectrais, superespectrais e hiperespectrais (CRISP, 2019).

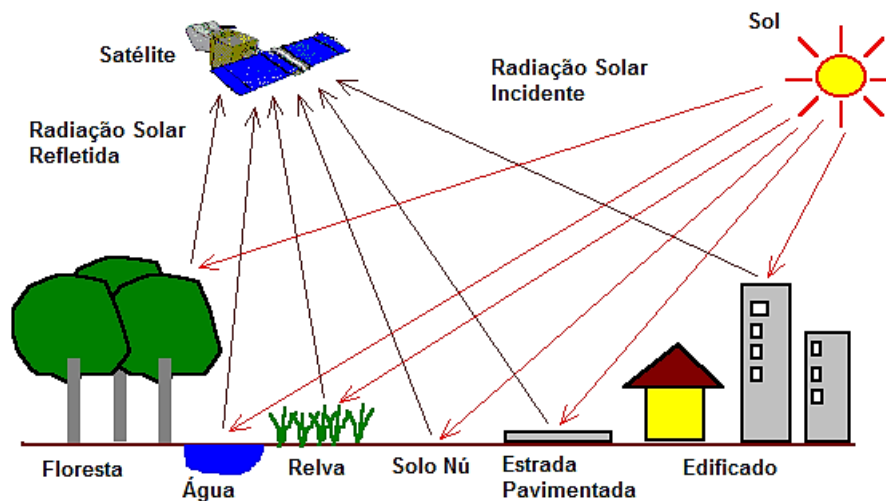


Figura 13 - Princípio básico dos sistemas óticos

(Fonte: Adaptado de CRISP, 2019)

No caso dos sistemas multiespectrais, o sensor possui multicanais com algumas bandas espectrais. Cada canal é sensível à radiação de uma determinada banda de comprimentos de onda, resultando numa imagem de multicamadas que contém tanto o brilho como a informação espectral (cor) dos alvos observados (CRISP, 2019).

1.6.1 Índices de deteção remota

As folhas da vegetação apresentam um composto químico denominado clorofila, que absorve os comprimentos de onda vermelhos e azuis, mas reflete os comprimentos de onda verdes. Dependendo da época do ano o teor do composto altera-se, resultando na variação da percentagem de absorção dos comprimentos de onda vermelhos. A estrutura interna das folhas saudáveis atua como um excelente refletor difuso dos comprimentos de onda infravermelhos (CCRS, 2019).

Os índices de vegetação, como é o caso do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), permitem discriminar diferentes tipos e estados de vegetação. Estes índices baseiam-se no facto da vegetação vigorosa apresentar refletâncias altas no infravermelho e refletâncias baixas na banda vermelha do visível, enquanto a vegetação morta apresenta refletâncias equivalentes nestas bandas. Assim, as diferenças radiométricas, entre vegetação

vigorosa e morta acentuam-se na razão entre as bandas, permitindo uma melhor diferenciação destes dois tipos de cobertura do solo (Fonseca e Fernandes, 2004).

Segundo Rouse *et al.*, (1974), o NDVI é calculado a partir das refletâncias espectrais ao nível do topo da atmosfera das bandas de vermelho (*pred*) que no caso do Sentinel 2 corresponde à banda 4 e às bandas do infravermelho próximo (*pnir*) que, por sua vez, correspondem à banda 8. O índice é calculado segundo a Equação 1:

$$NDVI = \frac{pnir - pred}{pnir + pred} \quad (Eq.1)$$

A partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que apresentamos anteriormente, Huete, em 1988, propôs o Índice de Vegetação Ajustado por Solo (SAVI) o qual introduz um fator no NDVI para incorporar o efeito da presença do solo, com o intuito de minimizar os efeitos da variabilidade e do tipo e densidade da vegetação. Este índice é calculado segundo a Equação 2:

$$SAVI = \frac{(pnir - pred) \cdot (1 + L)}{(pnir + pred + L)} \quad (Eq.2)$$

Onde o *pred* corresponde à região do vermelho e o *pnir* corresponde ao infravermelho próximo na área do visível, sendo representado, pelas bandas 4 e 8 no Sentinel 2 respetivamente. *L* é o fator de ajuste de correção do efeito de brilho do solo, sendo que este varia de acordo com a densidade da cobertura da vegetação. Para cobertura vegetal de menor densidade o fator *L* é 1; para cobertura vegetal de densidade intermédia o fator será 0,5, e para coberturas vegetais de altas densidades, o fator será 0,25. O índice SAVI equivalerá ao índice NDVI quando o fator *L* for igual a zero (Demarchi *et al.*, 2011).

1.6.2 Imagens de satélite - Programa Sentinel

O Programa de Monitorização Global do Meio Ambiente e Segurança (GMES - Global Monitoring for Environment and Security) é uma iniciativa conjunta da União Europeia (UE), da Agência Espacial Europeia (ESA - European Space Agency) e a Agência Europeia do Ambiente (EEA - European Environment Agency). Tem como principal objetivo fornecer informações precisas e de fácil acesso para uma melhor gestão do meio ambiente, e por sua vez, entender e mitigar os efeitos das mudanças climáticas e garantir a segurança civil, sendo considerado o mais ambicioso programa de observação da Terra (GMES, 2019).

A ESA está a desenvolver uma série de missões de observação da Terra sendo que o programa Sentinel tem como objetivo substituir as atuais missões de observação da Terra e mais antigas, que estão a chegar ao fim da sua vida útil operacional, para poder garantir a continuidade dos dados e para que não haja uma interrupção nos estudos que se estão a realizar (ESA, 2019a).

Cada missão centra-se num aspeto diferente da observação da Terra, são iniciadas gradualmente, sendo as três primeiras missões constituídas por dois satélites, A e B (DGT, 2019).

O satélite Sentinel 1 tem como objetivo a monitorização terrestre e oceânica, tendo tido o seu início em abril de 2014; o satélite Sentinel 2 monitoriza a terra em órbita polar, fornecendo imagens óticas de alta resolução sobre a vegetação, solo e áreas costeiras. O Sentinel 2A entrou em órbita em 2015 e o Sentinel 2B em 2017; o satélite Sentinel 3 fornece serviços para monitorização da segurança e proteção marítima, monitorização da zona costeira, serviços atmosféricos, suporte à segurança e a serviços europeus de ajuda humanitária; o Sentinel 4 e o Sentinel 5, cujas unidades deverão ser lançadas a partir de 2020, fornecerão dados para a monitorização da composição atmosférica a partir de órbitas geoestacionárias e polares, respetivamente (ESA, 2019a).

A missão Sentinel 2 é constituída por 2 satélites (A e B), com órbita sol-síncrona e altitude média de 800 km e que, juntas, têm a capacidade de revisita de 5 dias no equador, e de 2 a 3 dias nas latitudes médias (ESA, 2019a). Igualmente, a fim de obter uma menor cobertura de nuvens, uma boa iluminação solar e uma similaridade com os dados da série Landsat e SPOT, os satélites da missão Sentinel2 (figura 14) cruzam o equador às 10:30 a.m. do horário local (DGT, 2019).



Figura 14 - Sentinel 2 (Fonte: ESA, 2019a)

Ambos os satélites da missão Sentinel 2 (2A e 2B) contam com um sensor MultiSpectral Instrument (MSI) com 13 bandas espectrais, de elevada qualidade geométrica e radiométrica, voltadas para a monitorização terrestre (ESA, 2019a; DGT, 2019), cujas características são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Bandas espectrais para os sensores Sentinel 2 (S2A e S2B) (Fonte: ESA, 2019b).

Número da banda	S2A		S2B		Resolução espacial (m)
	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)	
1	442,7	21	442,2	21	60
2	492,4	66	492,1	66	10
3	559,8	36	559,0	36	10
4	664,6	31	664,9	31	10
5	704,1	15	703,8	16	20
6	740,5	15	739,1	15	20
7	782,8	20	779,7	20	20
8	832,8	106	832,9	106	10
8a	864,7	21	864,0	22	20
9	945,1	20	943,2	21	60
10	1373,5	31	1376,9	30	60
11	1613,7	91	1610,4	94	20
12	2202,4	175	2185,7	185	20

As bandas do Sentinel 2 cobrem as regiões espectrais do visível (VIS), do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR). As quatro bandas com resolução espacial de 10 metros (2, 3, 4 e 8) foram definidas para manter a compatibilidade com os produtos SPOT, enquanto as bandas de 20 metros de resolução espacial, foram concebidas para observar principalmente as características da vegetação (borda vermelha da vegetação e a banda

de absorção da lenhina) (ESA, 2019a). As bandas de resolução espacial de 60 metros são destinadas à correção atmosférica (ESA, 2019a).

Os dados do sensor MSI/Sentinel 2 são disponibilizados ao público (Figura 15).

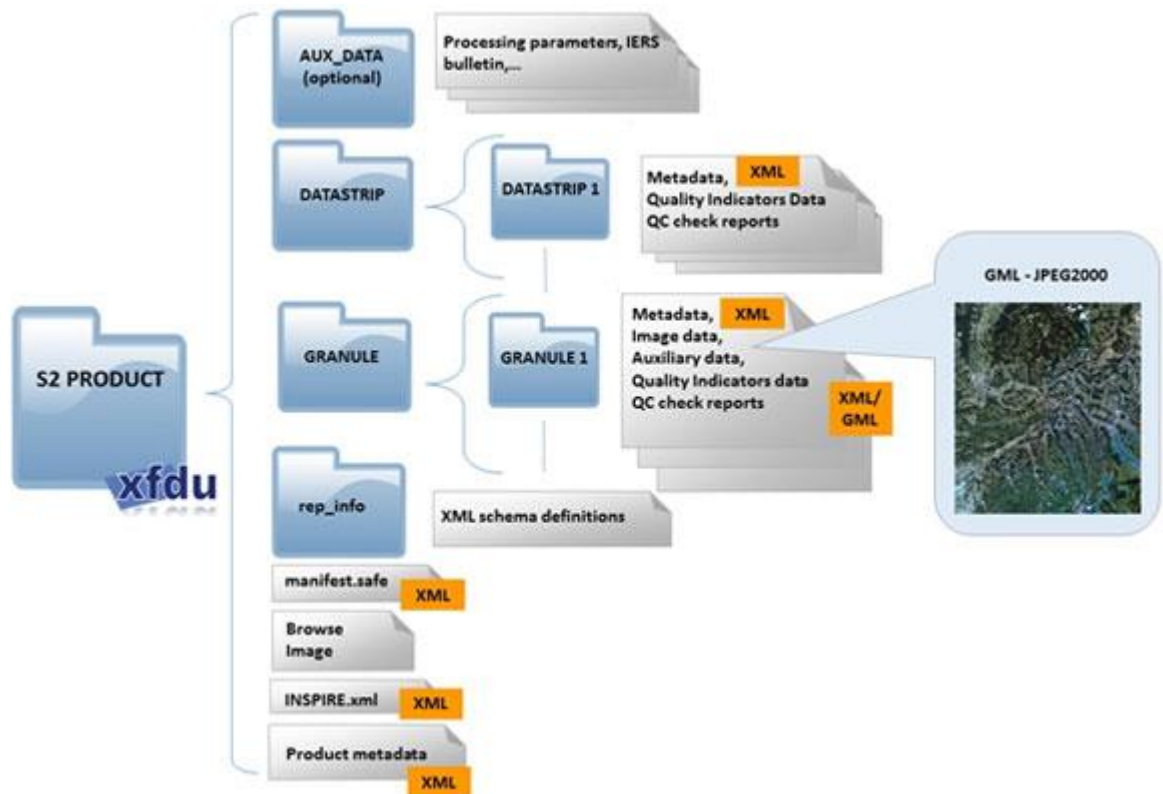


Figura 15 - Modo de disponibilização ao público dos dados do sensor MSI/Sentinel 2 (Fonte: ESA, 2019a)

Os dados correspondem à refletância no topo da atmosfera e são orto-corrigidos (nível 1C), sendo possível a correção para a refletância de superfície (nível 2A) por meio do algoritmo Sentinel-2 Atmospheric Correction (Sen2Cor). Este algoritmo utiliza as bandas de aerossol (443 nm), de absorção de vapor de água atmosférico (945 nm) e de nuvens cirros (1375 nm) em funções de transferência radiativa, oriundas de Lookup Tables (LUT) e geradas a partir da biblioteca LibRadtran, que calculam a radiação solar e termal na atmosfera terrestre (ESA, 2019a).

1.7 SOFTWARE INVEST

O projecto Capital Natural da Universidade de Stanford (NatCap) é uma parceria de quatro instituições académicas de nível mundial - a Universidade de Stanford, a Academia Chinesa de Ciências, a Universidade de Minnesota e o Centro de Resiliência de Estocolmo, com a colaboração da duas das maiores ONGs do mundo, nomeadamente The Nature Conservancy (TNC) e World Wildlife Fund (WWF) e tem como objetivo melhorar o bem-estar de todas as pessoas e da natureza, criando ferramentas de primeira linha para poder apoiar os decisores relativamente ao valor do capital natural (NCP, 2019a). Para alcançar aquele objetivo foi criado o *software* InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) que compreende um conjunto de modelos usados para inventariar e valorizar os bens e serviços dos ecossistemas.

Se os ecossistemas forem geridos adequadamente produzem um fluxo de serviços que são vitais para a humanidade, pelo que os modelos do InVEST fornecem uma ferramenta eficaz para equilibrar os objetivos ambientais e económicos (NCP, 2019a).

Existem vários modelos InVEST dedicados a temas diferenciados, desde o Armazenamento e Sequestro de Carbono, a Vulnerabilidade Costeira, a Avaliação do Risco em Habitats, a Polinização das Culturas, a Produção Pesqueira, a Qualidade do Habitat, entre outros (NCP, 2019b).

Os modelos InVEST são fundamentados através de bases de dados geográficas, tendo a cartografia como fonte de informação base e produzindo mapas como resultado final. Os modelos criam projeções ilustrativas de cenários futuros pressupondo estratégias de gestão distintas. O InVEST analisa resultados em termos biofísicos e económicos, unidades facilmente interpretáveis por não especialistas. A resolução espacial das análises também é flexível, permitindo que os utilizadores abordem questões em escalas locais, regionais ou globais.

O modelo de Qualidade dos Habitats do InVEST baseiam-se em funções de produção que definem a forma como as mudanças na estrutura e função de um ecossistema são suscetíveis de afetar os fluxos e valores dos serviços naturais de ecossistema prestados, combinando informações sobre a ocupação do solo e suas ameaças à biodiversidade, para criar mapas de qualidade de habitat.

Este modelo apresenta um conjunto de informação que nos permite realizar uma avaliação da necessidade de conservação, em termos de extensão relativa, da degradação de diferentes tipos de habitat e mudanças ao longo do tempo em uma determinada área.

O habitat pode ser definido como “*os recursos e condições presentes em uma área que produz ocupação - incluindo sobrevivência e reprodução - por um determinado organismo*” (Hall *et al.*, 1997). A sua qualidade reflete a capacidade de o ecossistema fornecer condições adequadas ao equilíbrio das espécies, sendo considerada uma variável contínua no modelo, variando de baixa a alta, com base nos recursos disponíveis para a sobrevivência, reprodução e equilíbrio populacional, respetivamente (Hall *et al.*, 1997).

Através do mapa de uso do solo e da cobertura (LULC) podem ser diferenciadas as áreas de uso do solo natural e as de uso do solo antrópico. Assim, a cada uma das células é atribuído um tipo de LULC, podendo ser utilizado até três mapas raster do LULC, um para cada período de referência, passado, atual e futuro. Para que o modelo seja executado também é necessário definir as ameaças a cada habitat em formato raster.

O impacte das ameaças no habitat numa célula é mediado por quatro fatores:

- O primeiro fator é o impacte relativo de cada ameaça em relação ao habitat, onde o peso w_r pode tomar valor de 0 a 1, em que o 0 representa a uma ameaça nula relativamente ao habitat e o valor de 1 representa uma degradação máxima do habitat.
- O segundo fator é a distância entre o habitat e a fonte da ameaça, ou seja, o impacte da ameaça no espaço. Em geral, o impacte de uma ameaça no habitat diminui à medida que a distância da fonte de degradação aumenta. Podendo ser uma função linear ou exponencial, descreve como uma ameaça diminui no espaço e é representado pelas seguintes equações (Eq.3 e 4):

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r\max}} \right) \quad \text{Linear} \quad (\text{Eq.3})$$

$$i_{rxy} = \exp \left(- \left(\frac{2.99}{d_{r\max}} \right) d_{xy} \right) \quad \text{Exponencial} \quad (\text{Eq.4})$$

O impacto da ameaça r que se origina na célula y e r_y no habitat, na célula x é dado por i_{rxy} , onde d_{xy} é a distância linear entre as células x e y , e a d_{rmax} corresponde à distância efetiva máxima da ameaça r .

A Figura 16 ilustra a relação entre a taxa de declínio da distância para uma ameaça com base na distância efetiva máxima da ameaça (linear e exponencial).

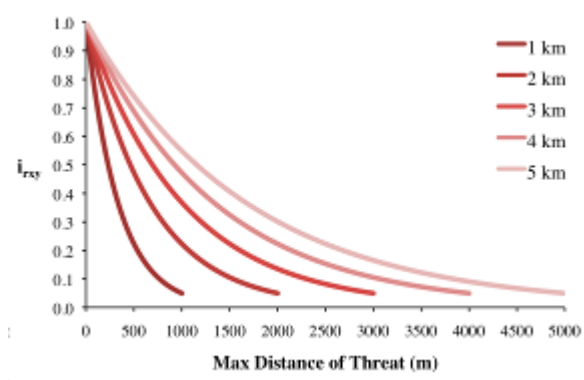


Figura 16 - Relação entre a distância de uma ameaça e a distância efetiva máxima de uma ameaça (Fonte: NCP, 2019b).

- O terceiro fator são os cenários que podem mitigar os impactos das ameaças nos habitats que correspondem ao nível de proteção em termos de imposição legal para uma dada área.

O modelo pressupõe que quanto mais proteção legal contra a degradação uma célula tiver, menos ela será afetada por ameaças próximas, independentemente do tipo de ameaça. $\beta_x \in [0,1]$ indica o nível de acessibilidade na célula x onde 1 representa acessibilidade completa. À medida que a acessibilidade diminui, o impacto que todas as ameaças terão na célula x diminui linearmente.

- A sensibilidade relativa de cada tipo de habitat a cada ameaça na paisagem é o fator final usado ao gerar a degradação total numa célula com habitat (NCP, 2019b). A sensibilidade ao habitat é referida pela sua inversa "resistência". $S_{jr} \in [0,1]$ que indica a sensibilidade do LULC (tipo de habitat) j ameaçar r onde valores próximos a 1 indicam maior sensibilidade. O modelo pressupõe que quanto mais sensível for um tipo de habitat a uma ameaça, mais degradado será esse tipo de habitat por essa ameaça. A sensibilidade de um habitat às ameaças deve ser baseada em princípios gerais da ecologia da paisagem para conservar a biodiversidade (Forman, 1995; Noss, 1997; Lindenmayer *et al.*, 2008). Para

reiterar, se atribuímos pontuações de adequação de habitat de grupos específicos de espécies a cada LULC, a sensibilidade do habitat às ameaças deve ser específica para o grupo de espécies modeladas.

Portanto, o nível total de ameaça na célula x com LULC ou tipo de habitat j é dado por D_{xj} de acordo com a Eq.5,

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (\text{Eq.5})$$

Onde r é uma ameaça LULC, com $r = 1, 2, \dots, R$ indexa todas as fontes de degradação modeladas; y indexa todas as células da grade no mapa rasterizado de r ; Y_r indica o conjunto de células no mapa rasterizado de r ; i_{rxy} o resultado da 1 e 2; w_r é o parâmetro de pesos; S_{jr} é o fator da sensibilidade; e β_x é o fator de acessibilidade, ambos descritos acima. A qualidade do habitat (Q_{xj}) em um determinado pixel (x) é o resultado da equação 6 (NCP, 2019b).

$$Q_{xj} = 1 - \left(\frac{D_{xj}}{D_{xj} + 0.5} \right) \quad (\text{Eq.6})$$

O D_{xj} e o nível total de ameaça, já o valor de 0.5 é a constante de meia saturação que é definida pelo utilizador.

2 METODOLOGIA

Sendo as áreas protegidas as zonas mais sensíveis à degradação da biodiversidade dos ecossistemas, e assumindo que os elementos base de qualquer ecossistema representam uma prioridade em termos de conservação pela forma como fornecem toda a cadeia trófica, a alteração do coberto vegetal representa, atualmente, um papel prioritário em estratégias de conservação. O conhecimento do habitat de espécies selvagens ou necessidades de recursos é um requisito básico para a gestão da biodiversidade (Nature e Biodiversity, 2019).

Neste sentido a utilização de TIG permite conjugar diferentes informações, análises e resultados, de modo a harmonizar esse conhecimento criando propostas geográficas de apoio à conservação da natureza.

O modelo conceptual (figura 17) desenvolvido assenta na identificação e mapeamento geográfico dos diferentes habitats da área com interesse para a conservação e também no processo de modelação de qualidade dos habitats para diferentes cenários e estratégias de conservação a testar.

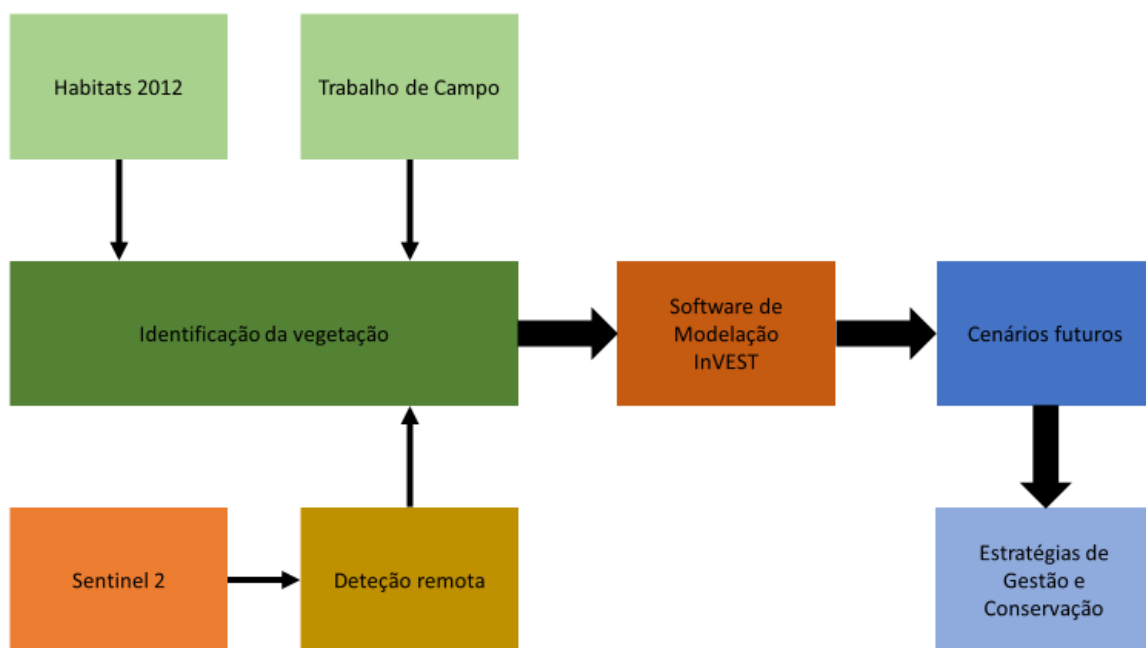


Figura 17 - Modelo conceptual executado

Numa primeira abordagem recorreu-se à identificação do tipo de ocupação do solo neste trabalho através de dois métodos, *in loco*, com recurso a trabalho de campo utilizando o método aleatório estratificado (Anexo II) e o segundo por deteção remota, com recurso a diferentes série temporais das imagens do Sentinel 2, onde foi aplicado o NDVI para a área de estudo, assumindo-se que os valores abaixo de 0 correspondem a áreas inundadas os valores de 0 a 0.4 correspondem a áreas com pouca vegetação, e os valores de 0.4 a 1 correspondem a áreas de vegetação densa.

Numa segunda abordagem o modelo de Qualidade do Habitat do *software* InVEST combina informações sobre a ocupação do solo (LULC) e sobre ameaças à biodiversidade, para produzir mapas de qualidade de habitat. Para essa abordagem é necessário um conjunto de informações (Figura 18) com as devidas reflexões quanto ao peso de cada LULC e as ameaças que existem, conforme se explicou anteriormente.

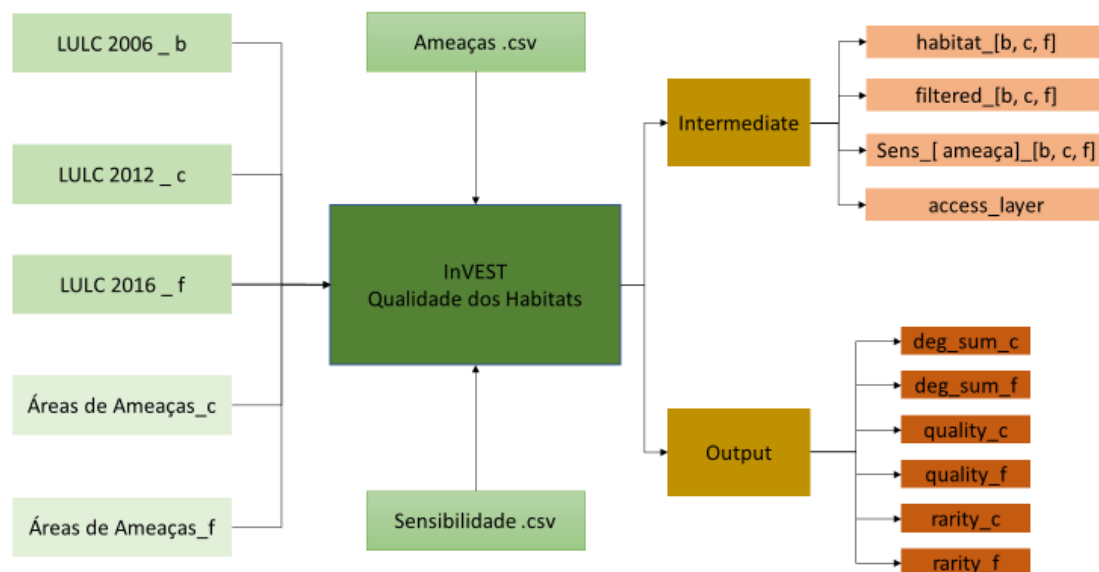


Figura 18 - Conjunto de dados para o modelo de qualidade dos habitats

Na aplicação da metodologia InVEST os dados utilizados pelo modelo Qualidade do Habitat têm de estar todos no mesmo sistema de coordenadas e na mesma unidade de medida, sendo agrupados da seguinte forma:

Uma pasta onde todos os dados de entrada se encontram. Esta pasta contém os ficheiros que correspondem à ocupação do solo em diferentes períodos: passado (_b), atual (_c) e futuro (_f), em formato raster, com um código LULC inteiro para cada célula. Os códigos LULC têm de ser iguais aos códigos da tabela .csv referente à Sensibilidade dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça.

Na mesma pasta encontram-se também obrigatoriamente um ficheiro raster por cada ameaça atual (_c) e futura(_f), sendo que o valor atribuído à ameaça varia de 1 e a restante área 0. Os ficheiros raster das ameaças não são solicitados na interface do InVEST (figura 19) porque o modelo encontra-os automaticamente na pasta de entrada, tendo por base os nomes que se encontram na tabela de dados das ameaças.

Cada linha da tabela (ameaças .csv) corresponde a uma ameaça e tem de conter obrigatoriamente as quatro colunas como se demonstra a título de exemplo na tabela 2, e se explica de seguir:

- **THREAT** - O nome da ameaça específica, sendo que não devem exceder 8 caracteres.
- **MAX_DIST** - A distância máxima em que cada ameaça afeta a qualidade do habitat (medida em quilómetros). O impacto de cada fonte de degradação diminuirá para zero nessa distância máxima.
- **WEIGHT** - O impacto de cada ameaça na qualidade do habitat, em relação a outras ameaças. Estes pesos podem variar de 1 no impacto mais alto a 0 definido para o impacto mais baixo.
- **DECAY** - O tipo de deterioração no espaço para a ameaça. Pode ter o valor de "linear" ou "exponential".

Tabela 2 - Ameaças, distâncias, impactos e tipo de deterioração (Fonte: NCP, 2019b)

THREAT	MAX_DIST	WEIGHT	DECAY
Dirt_rd	2	0.1	linear
Paved_rd	4	0.4	exponential
Agric	8	1	linear

O ficheiro (habitats.csv) da Sensibilidade dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça também tem de estar na pasta de entrada. A cada tipo de ocupação é atribuído um valor de 0 a 1 relativamente à sensibilidade específica a cada ameaça.

Cada linha da tabela da sensibilidade corresponde a um tipo LULC e as colunas devem ser nomeadas da seguinte maneira (tabela 3):

- LULC - Código inteiro numérico para cada tipo de LULC. Os valores devem corresponder aos códigos usados nos mapas raster do passado (_b), atual (_c) e futuro (_f).
- NOME - O nome de cada LULC
- HABITAT - Cada tipo de LULC recebe uma classificação de habitat que varia de 0 a 1, em que 1 indica a maior adequação do habitat.
- L_agric (nome da ameaça) - A sensibilidade relativa de cada tipo de habitat a cada ameaça. Existem tantas colunas nomeadas quantas as ameaças, sendo que os nomes das colunas devem corresponder aos nomes das linhas na tabela "Dados de ameaças". Os valores variam de 0 a 1, onde 1 representa alta sensibilidade a uma ameaça e 0 representa sensibilidade nula (NCP, 2019b).

Tabela 3 - Sensibilidade dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça (Fonte: NCP, 2019b)

LULC	NAME	HABITAT	L_AGRIC	L_PAVED_RD	L_DIRT_RD
1	Bare Soil	0	0	0	0
2	Closed Woodland	1	0.5	0.2	0.4
3	Cultivation	0	0	0	0
4	Forest Mosaic	1	0.8	0.8	0.5

Na figura 19 podemos observar quais os dados de entrada que o modelo de Qualidade dos Habitats do *software* InVEST necessita, e que anteriormente já foram explicados.

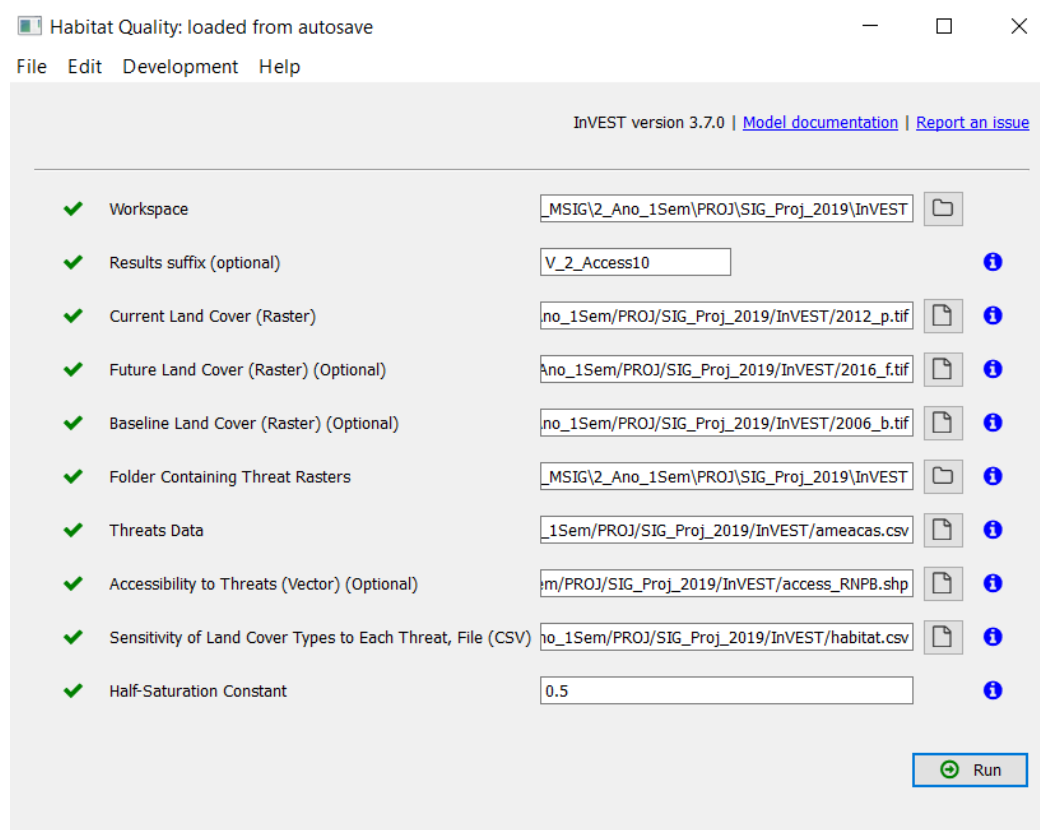


Figura 19 - Interface do *software* InVEST para o modelo de Qualidade dos Habitats

É de realçar que os valores e os parâmetros utilizados resultam de uma aferição de vários dados publicadas e opiniões veiculadas por vários especialistas em gestão de áreas protegidas, como adiante será descrito.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, RESERVA NATURAL DO PAUL DO BOQUILOBO

A escolha do objeto de estudo resulta da sequência de trabalhos pessoais já desenvolvidos no âmbito da Licenciatura em Engenharia do Ambiente e Biológica, onde a afinidade e o conhecimento criado acerca desta área protegida em muito contribuíram para a decisão final.

Reserva Natural do Paul do Boquilobo está localizada na bacia hidrográfica do rio Almonda junto da sua confluência com o rio Tejo. Administrativamente esta área pertence aos concelhos de Torres Novas (freguesia da Brogueira) e Golegã (freguesia da Azinhaga) do distrito de Santarém e situa-se no centro de Portugal (figura 20).

A importância local, regional e nacional deste espaço prende-se com a sua biodiversidade e características naturais singulares, que lhe conferem um estatuto de proteção reconhecido a nível nacional e internacional.

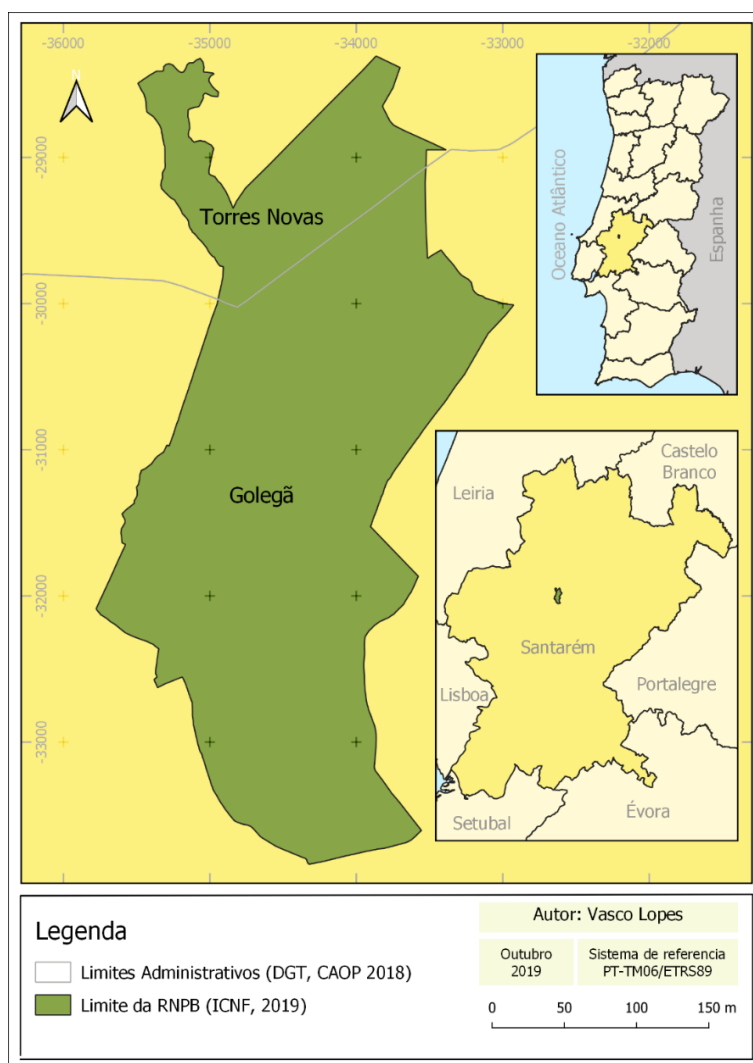


Figura 20 - Localização da RNPB

3.1 ENQUADRAMENTO LEGAL

O Paul do Boquilobo foi reconhecido pelo estado Português como Reserva Natural aquando da publicação do Decreto-Lei n.º 198/80 de 24 de junho que a declara como Reserva Natural Parcial do Paul do Boquilobo. Este documento no seu preâmbulo diz que a Reserva apresenta características notáveis como habitat de elevado interesse para a fauna e por isso mesmo se impõe a sua proteção através da constituição de uma reserva natural parcial, sendo que merecem especial relevo, por um lado, a existência de dois maciços de salgueiros onde, já nessa data estava instalada a maior colónia de garças da Península Ibérica e, por outro lado, a zona permanentemente alagada na margem direita do rio Almonda, com grande densidade de vegetação aquática, constituindo importantíssimo local de nidificação da fauna aquática com especial referência para os patos (Telles, 1996).

A área da Reserva Natural Parcial do Paul do Boquilobo era então de 529 ha.

Posteriormente o Decreto-Lei n.º 19/93 de 23 de janeiro criou um novo quadro de classificação das áreas protegidas nacionais, classificando-as em Parque Nacional, Parque Natural, Reserva Natural e Monumento Natural.

A reserva Natural Parcial do Paul do Boquilobo é então reclassificada como Reserva Natural do Paul do Boquilobo, mediante o Decreto Regulamentar n.º 49/1997 de 20 de novembro que assenta a sua reclassificação em quatro pilares fundamentais:

1. Preservar e melhorar as condições de habitat para as espécies dependentes do Paul, em especial da zona de proteção integral;
2. Permitir a renaturalização dos terrenos envolventes à zona de proteção com seres vivos naturais locais;
3. Criar uma zona de transição, com a finalidade de divulgar a compatibilização entre as atividades rurais e a proteção da natureza;
4. Produzir estudos científicos que demonstrem o trabalho realizado na conservação da natureza, para que seja possível uma cooperação internacional no quadro da rede de reservas da Biosfera.

Em 1993 os Estados membros da União Europeia publicaram, aquele que é considerado o principal ato de direito comunitário no domínio da conservação da Natureza: a Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de maio, relativa à conservação dos habitats naturais, da fauna e da flora selvagens (Diretiva Habitats).

Esta diretiva visa a conservação da biodiversidade, através da conservação dos Habitats naturais, da fauna e da flora selvagens do território da União Europeia, nomeadamente mediante a criação de um conjunto de sítios de interesse comunitário, designados como Zonas Especiais de Conservação (ZEC).

Portugal transpôs esta diretiva para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º 226/97, de 27 de agosto, que em 1999 foi revisto e atualizado tendo sido publicado o Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de abril, que ainda se encontra em vigor.

As diretivas 92/43/CEE e a 79/409/CEE prevê em o estabelecimento de uma rede ecológica europeia de zonas especiais de conservação, a Rede Natura 2000, que englobará as ZEC e as ZPE (Zona de Proteção Especial).

Esta Reserva Natural é uma das áreas protegidas que em Portugal foi reconhecida pela UNESCO no âmbito do seu programa “Homem e Biosfera” (UNESCO, 2019). A RNPB é membro desta organização desde 5 de dezembro de 1981. Este programa tem como principal objetivo o estudo de métodos onde seja possível conciliar a utilização dos recursos naturais de um modo sustentável com as novas tecnologias, sempre protegendo os valores naturais.

Para ser englobada neste programa, a área referida tinha de obedecer a dois requisitos, ter uma zona nuclear, que na Reserva Natural do Paul do Boquilobo, corresponde à Zona de Proteção Integral (ZPI) e uma zona tampão, correspondente à zona de Uso Exclusivo (ZUE). A gestão deste programa é dividida entre instituições governamentais, não-governamentais e centros de pesquisa (ICNF, 2019c).

Em 1991 esta área foi inventariada como biótopo CORINE C21400012-Reserva Natural Paul do Boquilobo. O Projeto Biótopos CORINE tem como finalidade reunir todos os valores físicos e biológicos importantes para a Conservação da Natureza no espaço da União Europeia.

A riqueza desta zona húmida para a proteção e conservação de espécies, assim como para o seu uso racional, foram reconhecidos internacionalmente através da sua designação em 7 de maio de 1996, para integrar a Lista das Zonas Húmidas de importância internacional ao abrigo da Convenção de Ramsar (ICNB, 2019c).

Com a reclassificação do Paul do Boquilobo pelo Decreto Regulamentar n.º 49/97, de 20 de novembro, houve necessidade de um plano de ordenamento, sendo que a Resolução do Conselho de Ministros n.º 46/2001, de 10 de maio, determinou a elaboração do Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Paul do Boquilobo. Só através da Resolução do Conselho

de Ministros n.º 50/2008 de 19 de março foi aprovado o plano de ordenamento, que constitui um instrumento fundamental para assegurar uma gestão ordenada e eficaz deste território.

Por fim, em setembro de 2015 foi apresentada Candidatura que visava obter o estatuto de conservação relativo às Reservas da Biosfera de 2ª Geração, aprovado em 2016. Neste novo contexto, a Reserva da Biosfera do Paul do Boquilobo (RBPB), inclui hoje, não só uma vertente de conservação, mas também pretende valorizar outros recursos endógenos da região com um aumento de 817ha para 5896ha. Este aumento promove a conservação e a integração de pessoas que habitam esta região, no sentido de harmonizar a coexistência promovendo o turismo em espaço rural, a agricultura sustentável, a investigação e a sensibilização ambiental (RBPB, 2019).

3.2 VALORES NATURAIS

Os valores naturais são interpretados como o capital natural que incorpora todos os ativos naturais de um determinado local e todos os serviços de ecossistema por eles fornecidos que tornam possível a existência de vida humana. A Reserva Natural do Paul do Boquilobo é um local de reconhecida importância para a proteção de uma grande variedade de fauna, principalmente a avifauna, conjugada com a variedade de vegetação, onde são dominantes as espécies associadas a ambientes húmidos.

3.2.1 Monitorização do uso do solo

A monitorização da qualidade ambiental do Paul do Boquilobo desenvolvida pelo Instituto Politécnico de Tomar (IPT) teve início em 2010, contemplando a análise de variáveis ambientais com o objetivo de melhorar a qualidade dos ecossistemas.

Esse trabalho decorreu de forma continuada até ao ano de 2013, tendo em 2015 sido publicados os resultados com o artigo científico “*Water quality monitoring in the Paul do Boquilobo Biosphere Reserve*” (Batista e Santos, 2015).

Desta monitorização de habitats resultou a elaboração de mapas temporais de ocupação do solo de 1967, 1990 e 2012, representados na figura 21 conferindo uma noção evolutiva da utilização do solo.

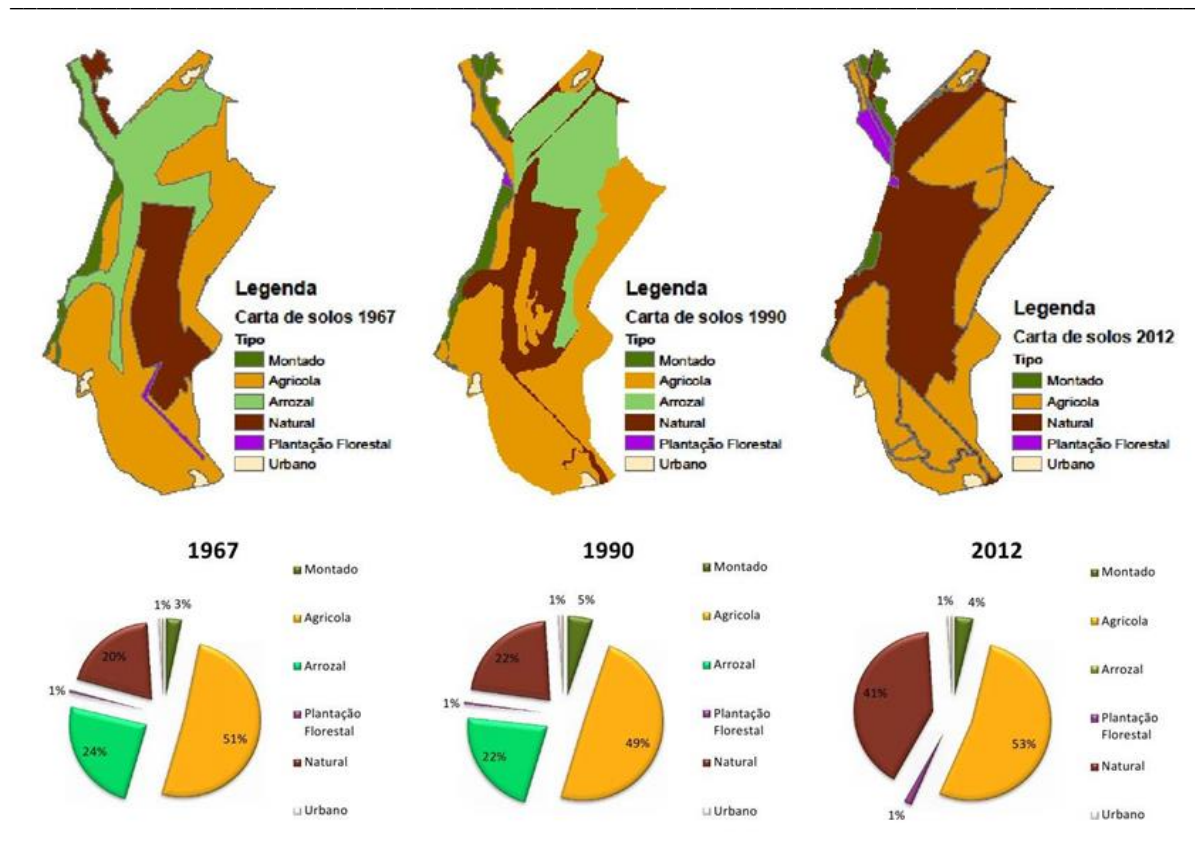


Figura 21 - Evolução da ocupação do solo de 1967, 1990 e 2012 (Godinho *et al.*, 2012)

Pela observação dos mapas e pela análise do tipo de ocupação do solo descrito na tabela 4 é notável a utilização antrópica da reserva em 1967 e a progressiva melhoria, justificada pela classificação como área protegida em 1981.

Tabela 4 - Distribuição da área da reserva pelos vários tipos, nos anos de 1967, 1990, 2012 (Godinho *et al.*, 2012)

	1967		1990		2012	
<i>Tipo</i>	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Montado	27	3%	42	5%	31	4%
Agrícola	418	51%	404	49%	431	53%
Arrozal	197	24%	180	22%	0	0%
Plantação Florestal	5	1%	4	1%	13	2%
Natural	161	20%	178	22%	333	41%
Urbano	8	1%	8	1%	8	1%

Analisando detalhadamente estes dados verifica-se que a área de montado, habitat de grande valor natural, aumentou de 1967 para 1990, tendo no período subsequente sofrido um

ligeiro decréscimo. Embora ligeira, a variação ocorrida entre 1967 e 1990 dever-se-á à classificação de reserva natural, enquanto o decréscimo do período posterior poderá ser atribuído à falta de manutenção de que este tipo de habitat carece, e que devido ao estatuto de área protegida, deixou de ser praticado.

A área agrícola, a mais representativa, sempre ocupou uma grande percentagem da área total da reserva, embora apresente uma notável alteração da tipologia de práticas agrícolas, nomeadamente o cultivo de arroz. Esta cultura sofreu uma redução após a implementação do estatuto de área protegida em 1981, sendo mais notória a partir de 1990 com a aquisição de áreas da reserva por parte do Estado e consequente transformação da área de arrozal em área natural e em área agrícola. Curiosamente estudos recentes evidenciam a importância do cultivo de arroz, em particular em áreas húmidas, sendo esta prática considerada de importância para a conservação, quando comparada com o cultivo do milho, uso predominante na área envolvente ao paul (Herring *et al.*, 2019).

Verifica-se que a área de plantação florestal depois de 1990 aumentou muito, considerando-se uma ameaça para as áreas de montado, visto que estas espécies se encontram no limite da reserva, ou seja, em terrenos afetos a propriedade privada, o que dificulta a implementação de restrições, criando um efeito de ilha na reserva.

A área natural verifica um aumento, sobretudo a partir de 1990, com o abandono do cultivo do arroz. Esse aumento foi muito significativo visto que a maioria das áreas de arrozal ficaram em pousio e, por sua vez, em regime de sucessão ecológica regeneram-se espécies naturais.

Tal como referido anteriormente, foram desenvolvidos vários trabalhos de análise e caracterização de parâmetros ecológicos da Reserva Natural do Paul do Boquilobo que permitiram adquirir conhecimento sobre esta área protegida e de algum modo contribuíram para a escolha deste tema de investigação, fornecendo informação de base para a criação e avaliação de cenários futuros. Um dos trabalhos desenvolvidos (Godinho *et al.*, 2012) teve como título “*Cartografia Ecológica e Monitorização Ambiental da Reserva Natural do Paul do Boquilobo*” e possibilitou a apresentação de três comunicações poster num simpósio nacional, duas delas dedicadas à temática do solo, especificamente “*Análise da Ocupação do Solo na Reserva Natural do Paul do Boquilobo*” (Lopes *et al.*, 2012a) e “*Análise de Solos na Reserva Natural do Paul do Boquilobo*” (Lopes *et al.*, 2012b). Esse trabalho de caracterização relativo a um período de um ano originou um relatório técnico elaborado pelo IPT para o ICNF com o

propósito de integrar o relatório apresentado pela RNPB à UNESCO “*Annual Report 2012/2013 MAB National Committee Portugal*” para renovação do estatuto de Reserva da Biosfera (Baptista e Santos, 2013). Posteriormente, de acordo com a cartografia geológica, recolha aleatória estratificada de amostras de solo e sua correlação com a ocupação natural em termos de sucessão ecológica, aprofundaram-se a análise e caracterização anteriores, no desenvolvimento do trabalho de projeto “*Caracterização do Solo da Reserva Natural do Paul do Boquilobo*” (Lopes, 2013).

A contínua colaboração do IPT com a Reserva evoluiu em 2014 e 2015 para o estudo dos serviços de ecossistema prestados por esta área protegida, como é o caso do armazenamento de carbono, usando os modelos do *software* InVEST, do qual foi publicado em 2019 o artigo científico “*Modelling past, present and future Ecosystem Services supply in a protected floodplain under land use and climate changes*” (Gaglio *et al.*, 2019).

Sendo a academia um pilar importante no desenvolvimento e coesão do território e, neste caso particular, na monitorização e análise de áreas protegidas, pretende-se que este projeto represente mais um contributo, dando continuidade ao trabalho de parceria IPT-RNPB que tem vindo a ser desenvolvido ao longo da última década.

3.2.2 Habitats

A Rede Natura 2000 é uma rede de valores naturais a proteger, proposta pela comunidade europeia que tem como princípios base a Diretiva Habitat e a Diretiva Aves, respetivamente 92/43/CEE e 79/409/CEE, e cujo objetivo principal é de contribuir para a conservação da biodiversidade através da conservação dos habitats naturais, da fauna e da flora selvagem de todos os estados membros.

Em Portugal estas diretivas foram revistas e transpostas para a legislação nacional através do Decreto-lei n.º 140/99 de 24 de abril com a última redação introduzida pelo Decreto-lei 49/2005 de 24 de fevereiro.

Os habitats de interesse comunitário são os constantes no anexo B-I do Decreto-lei n.º 140/99. Nos estudos de cartografia ecológica levados a efeito no IPT, foram identificados e delimitados geograficamente na Reserva Natural do Paul do Boquilobo os habitats que se reproduzem na tabela 5, cuja localização espacial consta do mapa da figura 22 (Godinho *et al.*, 2012).

Tabela 5 - Índice de habitats existentes na RNPB (Godinho *et al.*, 2012)

Habitat	Designação
3130	Águas paradas, oligotróficas a mesotróficas, com vegetação da <i>Littorelleteauniflorae</i> e / ou da <i>Isoeto-Nanojuncetea</i>
3150	Lagos eutróficos naturais com vegetação da <i>Magnopotamion</i> ou <i>Hydrocharition</i>
3150*	Lagos eutróficos artificiais com vegetação da <i>Magnopotamion</i> ou <i>Hydrocharition</i>
3260	Curso de água dos pisos basal a montano com vegetação da <i>Ranunculionfluitantis</i> e da <i>Callitricho-Batrachion</i>
3280	Cursos de água mediterrânicos permanentes da <i>Paspalo-Agrostidion</i> com cortinas arbóreas ribeirinhas de <i>Salix</i> e <i>Populus alba</i>
3290	Cursos de água mediterrânicos intermitentes da <i>Paspalo-Agrostidion</i>
6310	Montados de <i>Quercus</i> spp. de folha perene
6420	Pradarias húmidas mediterrânicas de ervas altas da <i>Molinio-Holoschoenion</i>
91B0	Freixiais termófilos de <i>Fraxinus angustifolia</i>
9240	Carvalhais ibéricos de <i>Quercus faginea</i> e <i>Quercus canariensis</i>
92A0	Florestas-galerias de <i>Salix alba</i> e <i>Populus alba</i>
9330	Florestas de <i>Quercus suber</i>

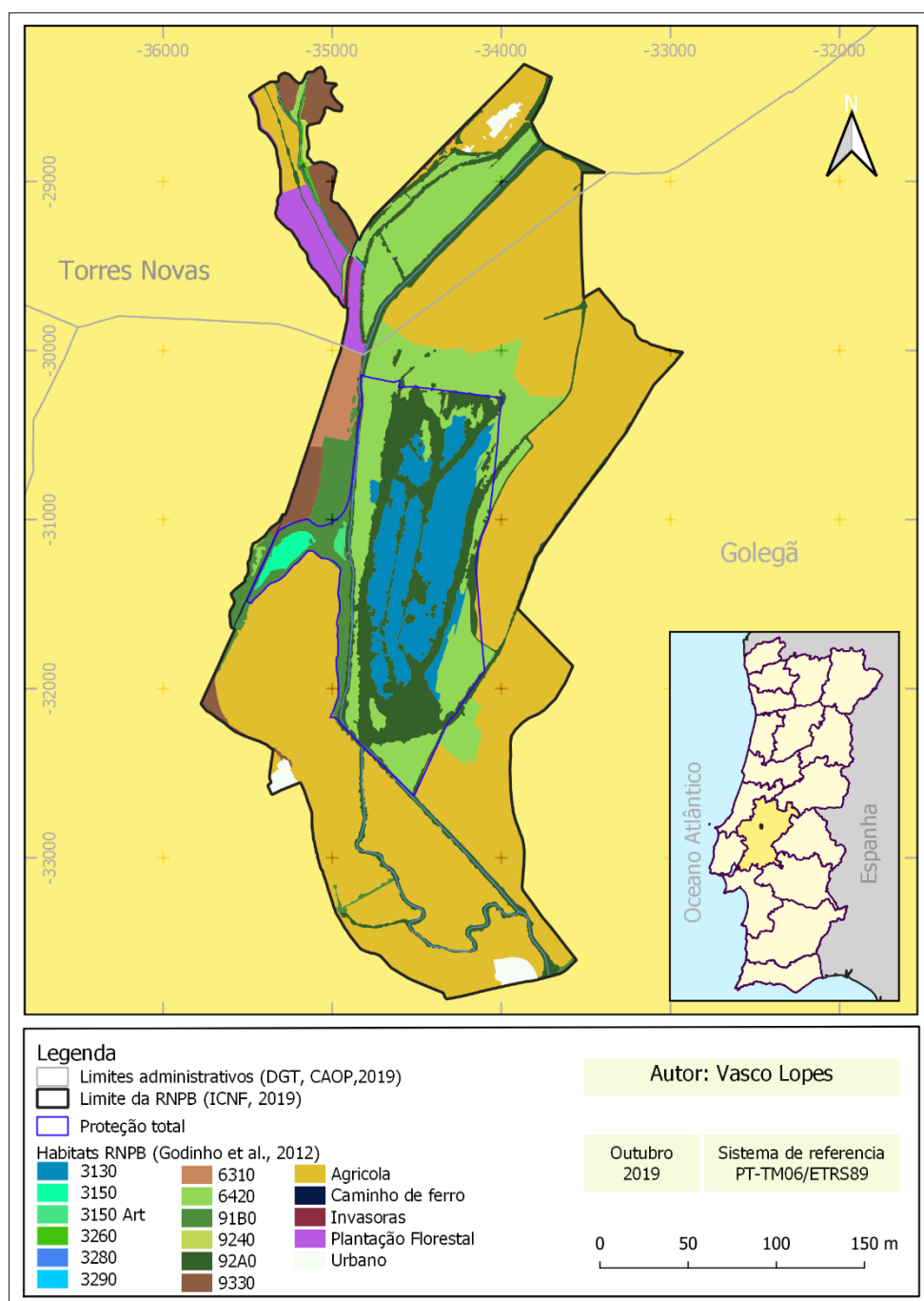


Figura 22 - Habitats da reserva e a ocupação do solo em 2012 (Godinho *et al.*, 2012)

3.2.3 Fauna

O Paul é um sistema complexo caracterizado por valores naturais únicos e os ecossistemas existentes constituem a base da cadeia alimentar de numerosas espécies de insetos, moluscos, crustáceos, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Em termos faunísticos, para além de uma área de alimentação, trata-se de um local com habitats que privilegiam o descanso, o abrigo e a reprodução.

As espécies mais representativas são as aves, principalmente as aquáticas que em grande número durante a Primavera, ocupam a Zona de Proteção Integral da reserva que possui o habitat 92A0 composto por floresta de galerias de *Salix alba* e *Populus alba*, onde residem várias espécies de garças, como por exemplo a garça-boieira (*Bubulcus ibis*). Esta é a ave mais representativa da família dos ardeídeos que nidificam nesta zona húmida, seguida da garça-branca-pequena (*Egretta garzetta*), do goraz (*Nycticorax nycticorax*), da garça-vermelha (*Ardea purpurea*), do garçote (*Ixobrychus minulos*) e da cegonha branca (*Ciconia ciconia*).

A garça-cinzenta (*Ardea cinerea*) é uma das espécies que utiliza o Paul principalmente na época invernal.

O Paul do Boquilobo é um dos poucos locais em Portugal que proporciona as condições ótimas para o colhereiro (*Platalea leucorodia*) nidificar sendo, por isso, uma área de interesse para esta espécie que apresenta um estatuto de conservação de VU (Vulnerável), de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados (ICNF, 2019c).

A águia pesqueira (*Pandionhaliaetus*) é uma das espécies de aves que pertencem à rota das migratórias, mas, a sua presença nestes locais tem sido observada durante todo o ano, o que pressupõe que o Paul lhe oferece as condições ideais para se reproduzir, bem como abundância de alimento. Esta ave apresenta um estatuto de conservação de CR (Criticamente em perigo), de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados (ICNF, 2019c).

Foram identificadas quarenta e uma espécies de aves limícolas, como por exemplo o borrelho-pequeno-de-coleira (*Charadrius dubius*) e o pernilongo (*Himantopus himantopus*), que utilizam principalmente o habitat de águas paradas 3130 com baixo nível de água e pouca vegetação, o que lhes é propício para passar o período de inverno. Muitas destas espécies de invernada apresentam estatutos de conservação, o que confere nível de grande interesse de conservação à área do Paul (ICNF, 2019c).

No entanto, existem muitas outras espécies que ali habitam, que embora sendo menos relevantes a nível de proteção, revelam a importância desta Reserva como, por exemplo, os anatídeos. De entre as espécies mais abundantes de anatídeos do Paul destaca-se a marrequinha (*Anas crecca*), o pato-trombeteiro (*Anas clypeata*), o pato-real (*Anas platyrhynchos*) e o zarro-comum (*Aythya ferina*). A maioria das espécies chega ao Paul vindas do Norte da Europa e algumas permanecem durante o resto do ano, chegando mesmo a nidificar nalguns dos habitats existentes, como é o caso do pato-real que ocupa o habitat de águas paradas 3130. Esta Área Protegida destaca-se por ser um dos poucos locais de nidificação do pato-de-bico-vermelho

(*Netta rufina*) a nível nacional e é ainda de realçar a presença e possível nidificação do marreco (*Anas querquedula*) (ICNF, 2019c).

Em relação aos mamíferos, devido à variabilidade de habitats existentes, é possível encontrar muitas das espécies comuns em Portugal. Estão inventariadas vinte e sete espécies distintas, das quais quatro não são indígenas. A lontra (*Lutra lutra*), o toirão (*Mustela putorius*) e o rato-de-cabrera (*Microtus cabreræ*) são espécies ameaçadas EN (em perigo) e CR (criticamente em perigo), classificadas no Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (ICNF, 2019c).

A diversidade de habitats favorece espécies de carnívoros que desta forma podem ocupar territórios compatíveis com as suas características. A raposa (*Vulpes vulpes*) é vista com regularidade junto aos campos agrícolas que delimitam a reserva integral, enquanto a doninha (*Mustela nivalis*) é encontrada nas galerias ripícolas e a geneta (*Genneta genneta*) é vista junto à vegetação arbórea densa e às linhas de água (ICNF, 2019c).

Por ser uma zona húmida, a quantidade de répteis não é abundante, não se podendo dizer o mesmo em relação à diversidade. Estão inventariadas onze espécies de répteis, sendo de particular interesse, pelo seu estatuto de ameaça, o cágado-de-carapaça-estriada (*Emys orbicularis*). São vistas com maior frequência, a cobra-de-água-viperina (*Natrix maura*) que possui boas condições nalguns habitats da reserva é como sendo o caso das pradarias húmidas mediterrânicas de ervas altas (6310) e também a lagartixa-do-mato (*Psammotriton alpestris*) (ICNF, 2019c).

A população de peixes varia consoante a época do ano. Quando o nível de água aumenta no rio Tejo, facilmente se encontram a carpa (*Cyprinus carpio*) e outras espécies não indígenas na vala da Sangria (por esta desaguar no rio Almonda). A abundância e variedade vão diminuindo de jusante para montante, sendo as espécies indígenas com maior relevância a enguia (*Anguilla anguilla*), o ruivaco (*Rutilus rutilus*), a fatia (*Liza ramada*) e a gambusia (*Gambusia holbrooki*) (ICNF, 2019c).

No Paul do Boquilobo foram identificadas treze espécies de anfíbios, mas a predominância incide sobre três deles, a rã-verde (*Rana perezi*), a salamandra-de-costelas-salientes (*Pleurodeles waltii*) e o tritão-de-ventre-laranja (*Lissotriton boscai*). Os seus ovos são depositados na vegetação no fundo de charcos e das valas, durante o mês de outubro, sendo a partir de março que começam a eclodir, podendo as larvas ficar escondidas até ao fim do Verão (ICNF, 2019c).

3.2.4 Flora

A RNPB possui como espécies arbóreas dominantes o salgueiro-branco (*Salix alba*) e o choupo-branco (*Populus alba*) que se encontram na faixa ripícola do rio Almonda e das Valas que percorrem a reserva e que são as espécies predominantes no habitat 92A0. A área oeste da reserva possui o freixo (*Fraxinus angustifolia*) que faz parte do habitat 91B0, o carvalho-português (*Quercus faginea*) e o sobreiro (*Quercus suber*). Estas espécies encontram-se nos habitats 6310, 9330 e 9240, respetivamente, que se situam em terrenos mais secos, ou seja, terrenos existentes num estrato mais elevado da reserva (ICNF, 2019c).

Em associação com o estrato arbóreo existe o estrato arbustivo que é muito importante para a nidificação de algumas espécies de fauna. A reserva possui uma grande variedade de espécies de onde se destaca o caniço (*Phragmites australis*), que se encontra principalmente junto da linha do caminho-de-ferro, espécie importante, embora seja considerada uma planta invasora (ICNF, 2019c).

O tojo (*Ulex, spp.*) e a urze (*Erica, spp.*) são espécies que predominam nas zonas xerófilas e que estão associadas aos habitats 6310, 9330 e 9240; as silvas (*Rubus ulmifolius*) encontram-se principalmente nas faixas ripícolas e são consideradas espécies trepadeiras (Godinho *et al.*, 2012).

A reserva possui uma vasta área de pastagem onde predominam os prados húmidos mediterrânicos de ervas altas(habitat 6420) e onde se podem encontrar algumas espécies de plantas herbáceas como o junco (*Scirpoides holoschoenus*), o bunho (*Scirpus lacustris*) que já foi em tempos um valor económico das quintas da região e a grama (*Cynodon dactylon*).

No Vale da Negra existe o *Ranunculus peltatus*, que é uma espécie que não se encontrou com muita predominância noutros locais da reserva (ICNF, 2019c).

Na zona limítrofe da reserva tem-se estado a observar um aumento de espécies não indígenas como é o caso do eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Estas espécies, caso não seja controlada a sua plantação e regeneração natural, podem pôr em causa a preservação de espécies naturais como os sobreiros e os carvalhos (Godinho *et al.*, 2012).

Na área húmida da reserva, em virtude de existirem boas condições e abundância de nutrientes, há alguns anos atrás existiu uma invasão de jacinto-de-água (*Eichornia crassipes*). Existem outras espécies que são consideradas infestantes como o carrapiço (*Xanthium strumarium*), a figueira-do-inferno (*Datura stramonium*) e o malvão (*Abutilon theophrasti*) que se encontra em toda a zona de charneca (ICNF, 2019c).

3.3 CARACTERIZAÇÃO BIOGEOGRÁFICA

A reserva natural do Paul do Boquilobo localiza-se na Região Mediterrânica, Sector Ribatagano-Sadense, Super distrito Ribatagano.

A **Região Mediterrânica** é caracterizada por possuir um clima em que escasseiam as chuvas no verão, podendo, no entanto, haver excesso de água nas outras estações.

Nesta Região, desde que o clima não seja extremamente frio (devido à altitude) ou seco, observam-se bosques e matagais de árvores e arbustos de folhas planas pequenas, coriáceas e persistentes (esclerófilas) – (*durisilvae*)- como sejam diferentes (*Quercus spp.*) do subgénero (*Sclerophyllodris*) azinheira – (*Quercus rotundifolia*), sobreiro – (*Quercus suber*) e carrasco – (*Quercus coccifera*), a aroeira (*Pistacia lentiscus*), o folhado (*Viburnum tinus*), o zambujeiro (*Olea europaea* var. *sylvestris*), a alfarrobeira (*Ceratonia siliqua*), o espinheiro preto (*Rhamnus oleoides*), o sanguinho-das-sebes (*Rhamnus alaternus*), a palmeira das vassouras (*Chamaerops humilis*), o loureiro (*Laurus nobilis*), o aderno (*Phillyrea latifolia*), o lentisco-bastardo (*Phillyrea angustifolia*), entre outras (Costa *et al.*, 1999).

O **Sector Ribatagano-Sadense** é um território essencialmente plano constituído pelas areias e arenitos plistocénicos e miocénicos dos vales do Tejo e Sado, terminando junto a Melides. Inclui ainda a zona calcária da Serra da Arrábida. Situa-se maioritariamente no andar termomediterrânico sub-húmido. *Armeria rouyana*, *A. pinifolia*, *Juniperus navicularis*, *Thymus capitellatus*, *Limonium daveaui*, *Serratula alcalaе* subsp. *aristata* e *Halimium verticillatum* são táxones endémicos deste Sector. O *Limonium lanceolatum* tem também aqui o seu limite setentrional, a *Euphorbia transtagana*, *Serratula monardii* e *Narcissus fernandesii* têm a sua maior área de ocorrência nesta unidade. A vegetação dominante é constituída por sobreirais (*Oleo-Quercetum suberis* e *Asparago aphylli- Quercetum suberis*), as murteiras (*Asparago aphylli-Myrtetum communis*), os matagais de carvalhiça (*Erico-Quercetum lusitanicae*) e pelo mato psamofílico endémico deste Sector (*Thymo capitellati-Stauracanthetum genistoidis*). O salgueiral (*Salicetum atrocinero-australis*) é comum no leito de cheias das linhas de água das bacias do Sado e Tejo (Costa *et al.*, 1999).

O **Superdistrito Ribatagano** corresponde à área da Lezíria do Tejo e Sorraia onde os solos são maioritariamente de aluvião (terraços aluvionares), ocorrendo também areias

podzodolizadas e arenitos. O *Ulex airensis* é uma das plantas que melhor caracteriza o território, apesar de também se distribuir pelo Superdistrito Estremenho, assim como o *Halimium verticillatum* que tem a sua maior área de distribuição nesta unidade biogeográfica. Além das comunidades vegetais que foram assinaladas para o Sector, observa-se também o *Thymo villosae-Ulicetum airensis*, que é uma comunidade endémica do território, resultante da destruição dos sobreirais do *Asparago aphylli-Quercetum suberis*. O *Asparago aphylli-Calicotometum villosae* também se observa nesta unidade. Nas areias mal drenadas e muito húmidas, na bacia da ribeira de Sor aparece um urzal higrófilo endémico desta área – *Drosero intermediae-Ericetum ciliaris* da qual fazem parte *Erica ciliaris*, *Erica erigena*, *Erica scoparia*, *Erica lusitanica*, *Ulex minor*, *Calluna vulgaris*, *Cheirolophus uliginosus*, *Drosophyllum lusitanicum*, *Anagallis tenella*, *Potentilla erecta*, *Drosera intermedia*, *Pinguicula lusitânica*, entre outras. A geossérie ripícola lântica da lezíria do Tejo ocupa grandes extensões e é um elemento taxonómico da paisagem vegetal muito relevante para a caracterização do território. Esta encontra um grande desenvolvimento devido à morfologia muito aberta do vale do rio Tejo. A ordem das comunidades potenciais, do leito até ao contacto com a vegetação terrestre, é normalmente a seguinte: o salgueiral (*Populus nigrae-Salicetum neotrichae*), o ulmal (*Aro italici-Ulmetum minoris*) nos solos mais argilosos; o freixial (*Ficario-Fraxinetum angustifoliae*). A maioria destes bosques, com exceção do salgueiral, está, em muitos locais, destruída. O solo onde se encontravam está ocupado por culturas horto-industriais ou vinhas, podendo em alguns locais observar-se grande abundância da etapa regressiva dos bosques ripícolas: os silvados (*Lonicero hispanicae-Rubetum ulmifolia*) (Costa *et al.*, 1999).

3.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O fator natural externo que mais contribui para a evolução de paisagens é o clima. É este fator que determina um conjunto de situações que nos afetam diretamente, sendo também o responsável pela modelação de vertentes, pelo caudal dos rios, pelo tipo de vegetação natural, pela agricultura e mais recentemente determina também os lugares turísticos mais procurados.

O clima em Portugal é influenciado pelo clima temperado mediterrânico, apresenta um clima quente e temperado, onde o período estival apresenta muito menos pluviosidade que o inverno. Em Portugal, a influência da latitude, do oceano Atlântico, da massa continental da Península Ibérica e a altitude faz com que exista alguma diversidade climática.

- No Norte Litoral e na Região Autónoma dos Açores, predomina o clima temperado mediterrâneo de influência atlântica, com maior quantidade de precipitação e menor duração da estação seca;
- No Interior, predomina o clima temperado mediterrâneo de influência continental, com menor quantidade de precipitação e maior amplitude térmica anual;
- No Sul de Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira, as características do clima temperado mediterrâneo são mais acentuadas;
- Nas áreas de montanha mais elevadas, como a Serra da Estrela, a altitude faz com que se registem temperaturas mais baixas e precipitações mais abundantes, por vezes, com queda de neve, no Inverno.

O Ribatejo, segundo a classificação de Koppen Geiger, baseada no pressuposto com origem fitossociológica e ecológica, é classificado Csa, clima mediterrânico de verão quente onde a média do mês mais frio está acima de 0 °C ou -3 °C e pelo menos 1 mês tem temperatura média acima de 22 °C e no mínimo quatro meses apresentam média superior a 10 °C, ocorrendo três vezes mais precipitação no mês mais chuvoso de inverno que no mês mais seco de verão, sendo que este último deverá apresentar precipitação inferior a 30 mm (Kottek *et al.*, 2006).

Para realizar a caracterização microclimática da área de estudo deste projeto, utilizaram-se os valores de 1971 a 2000, retirados do *website* do Portal do Clima relativamente à área geográfica da Lezíria do Tejo (PC, 2019).

A escolha podia recair pela área geográfica do Médio Tejo ou da Lezíria do Tejo, já que a reserva se enquadra nas duas áreas, sendo que foi escolhida a Lezíria do Tejo em virtude da maior área da reserva pertencer a este território.

É de mencionar que os dados apresentados no gráfico da figura 23 são os valores médios mensais para o período compreendido entre 1971 e 2000. Desta forma, na precipitação relativa a janeiro, o valor 97,63 mm é a média da precipitação ocorrida em todos os meses de janeiro desde 1971 até 2000, e assim sucessivamente (PC, 2019).

Verifica-se que os meses de julho e agosto foram os que tiveram valores de precipitação mais baixos, enquanto os meses de novembro e dezembro foram os meses em que ocorreu maior precipitação.

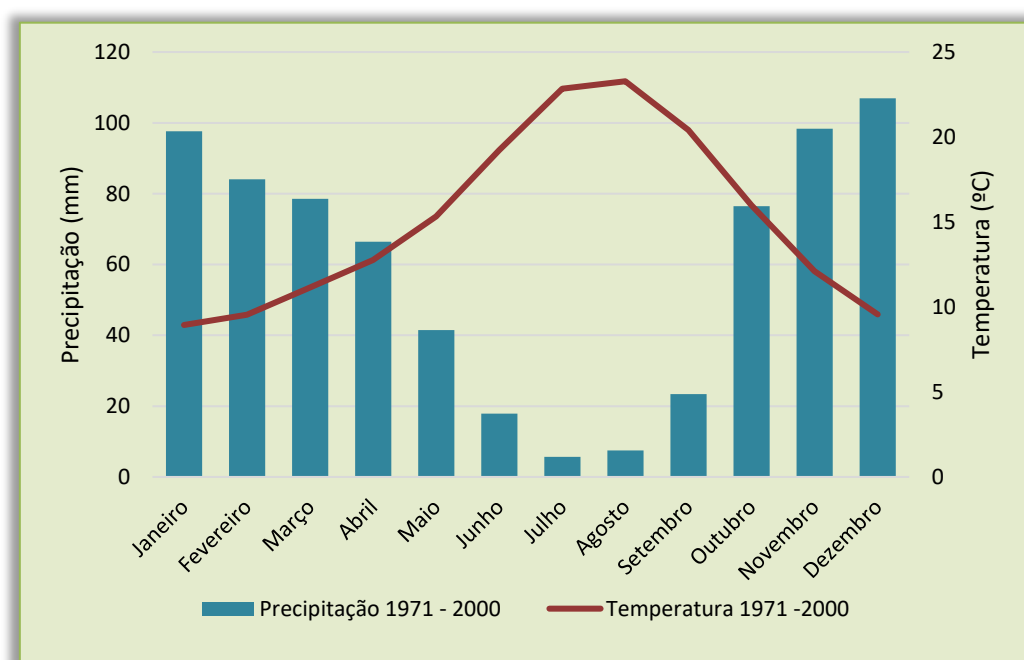


Figura 23 - Gráfico Termopluviométrico de 1971 a 2000 (Fonte: PC, 2019)

No que diz respeito à temperatura, esta foi francamente mais elevada nos meses de junho, julho, agosto e setembro. O mês mais frio foi o mês de janeiro, embora comparável com a temperatura média nos meses de fevereiro e dezembro (PC, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os principais resultados alcançados na sequência dos vários objetivos delineados e trajetórias concretizadas, ao longo do desenvolvimento deste projeto. Os resultados serão expostos em subcapítulos sequenciais explorando a obtenção e respetiva utilização na concretização de metas. Deste modo a apresentação de resultados está organizada nos seguintes itens distintos:

- Detecção remota;
- Produção de dados de entrada;
- Qualidade dos habitats modelo InVEST;
- Cenários futuros da Qualidade dos habitats com recurso à utilização do modelo InVEST tendo em conta as alterações climáticas com gestão económica ou gestão natural;
- Aplicação do modelo à garça.

4.1 DETECÇÃO REMOTA

A detecção remota beneficiou da evolução tecnológica exponencial das últimas décadas, muito embora ainda não tenha atingido o seu auge, apresenta-se hoje como uma opção no mapeamento. Estudos físicos de espectroscopia associados a estas novas tecnologias permitem a identificação de composições vegetais. Neste sentido a ideia inicial deste trabalho contemplou a utilização de imagens de satélite, a sua interpretação e posterior verificação no terreno utilizando o método aleatório estratificado.

Com o objetivo de avaliar a utilização da detecção remota, foram calculados os índices de vegetação para a área da reserva utilizando imagens de satélite, do Programa de Monitorização Global do Meio Ambiente e Segurança (GMES - Global Monitoring for Environment and Security), uma iniciativa conjunta da União Europeia (UE), da Agência Espacial Europeia (ESA - European Space Agency) e da Agência Europeia do Ambiente (EEA - European Environment Agency) para a observação da Terra (GMES, 2019). O satélite utilizado foi o Sentinel 2, e as imagens utilizadas neste estudo foram as de 29 de julho de 2016 com a seguinte denominação S2A_MSIL1C_20160729T112122_N0204_R037_T29SND e as de 24 de julho de 2019 com a seguinte denominação S2A_MSIL2A_20190724T112121_N0213_R037_T29SND. A escolha das datas prende-se com a evolução do coberto vegetal,

considerando-se o máximo crescimento da folhagem após o período primaveril, no mês de julho.

O NDVI é um dos índices mais conhecidos e utilizados em estudos de vegetação, Este índice tira partido das diferenças de refletância verificadas entre a região do visível, concretamente, do vermelho banda 4 e da região do infravermelho próximo banda 8. Este índice pode assumir valores entre -1 e 1, sendo que valores abaixo de 0 correspondem a áreas artificiais ou corpos de água, valores compreendidos entre 0 e 0,4 correspondem a solos com pouca ou nenhuma vegetação e valores superiores a 0,4 correspondem a áreas com vegetação. Quantitativamente os resultados podem ser interpretados do seguinte modo: quanto maior o valor, maior a quantidade de vegetação existente (NASA, 2019).

Os mapas apresentados nas figuras 24 e 25 mostram o índice NDVI para os anos de 2016 e 2019, respetivamente, o que corresponde ao período temporal de disponibilidade de imagens. Em termos gerais e meramente visuais, pode-se observar que a área de proteção total, significativamente mais inundada que as restantes áreas, se encontra a perder área inundada no período homólogo entre 2016 e 2019. Mais se identifica que o Braço do Cortiço que em 2016 dispunha de reserva de água, assim denominada por ter uma nascente natural, nas imagens de 2019 e *In loco* a não existência de superfície de água, uma vez que se observa o crescimento de herbáceas em toda a área da lagoa. Na comparação dos dois mapas também se observa que o pastoreio sofreu uma evolução negativa nalgumas secções da Reserva sendo que se a noroeste na área de proteção total se verifica que a entrada dos rebanhos, evidente no mapa da figura 25, correspondente ao amarelo, representado nos resultados da análise como possuindo muito pouca vegetação ou que a vegetação existente não possui clorofila. A proximidade desta influência com a área de proteção total poderá influenciar a evolução negativa do coberto vegetal na Reserva.

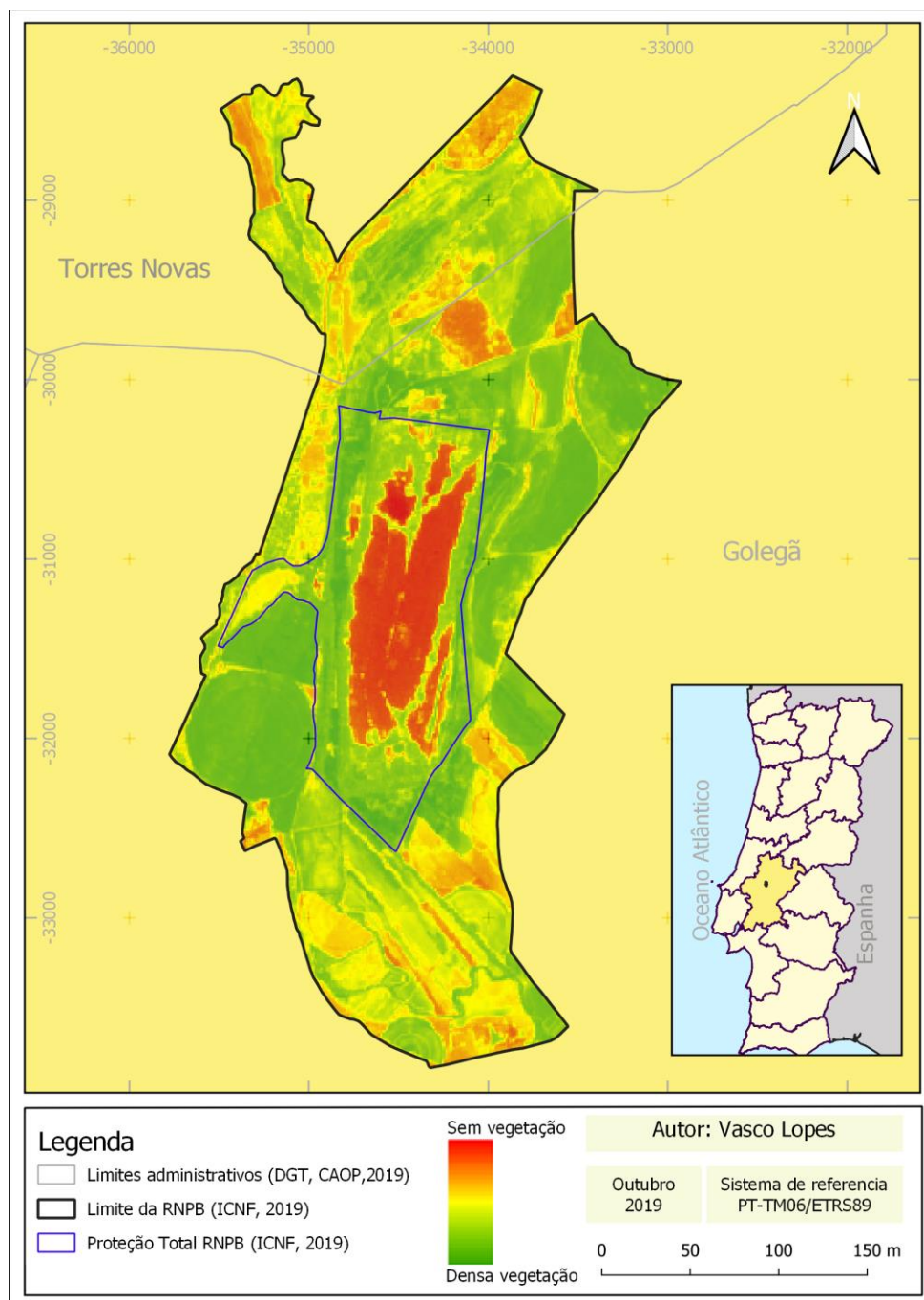


Figura 24 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada referente ao ano de 2016

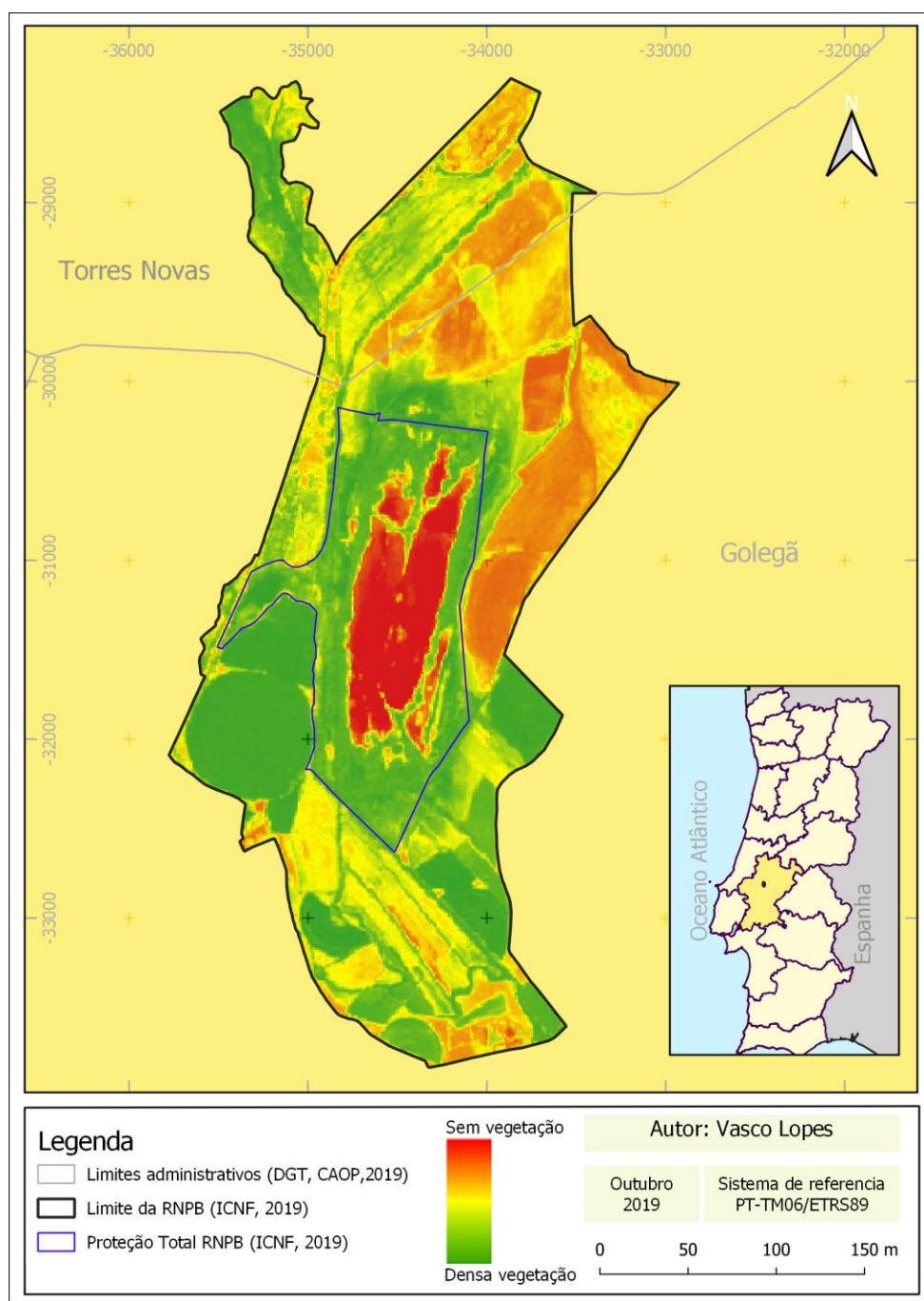


Figura 25 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada referente ao ano de 2019

Na deteção remota não foi utilizada uma classificação supervisionada em virtude da ocupação do solo ser muito idêntica e a refletância da mesma não permitir a identificação com precisão, não se conseguindo facilmente determinar a área correspondente a cada tipo de habitat, motivo pelo qual apenas foi utilizado o índice NDVI. Em conjugação com o curto intervalo temporal disponível, considerou-se que embora de grande importância para a análise evolutiva do coberto vegetal, a deteção remota não seria a mais adequada para a aplicação do

modelo InVEST, motivo pelo qual se decidiu enveredar pela cartografia produzida nos trabalhos anteriores referente ao ano de 2012. Considera-se que a deteção remota aqui desenvolvida, embora incipiente, poderá servir como base para estudos futuros, que seguramente beneficiarão de mais tecnologia e melhor qualidade de ferramentas de análise.

4.2 PRODUÇÃO DE DADOS DE ENTRADA

A aplicação do modelo requer a produção dos dados de entrada necessários para correr o modelo no *software* InVEST. Neste caso foi necessário recorrer aos sistemas de informação geográfica (SIG), tendo a escolha recaído sobre o *software* QGIS 3.4, apenas por ser *software* livre e de código aberto, mantendo a coerência com os objetivos do InVEST.

Na produção de informação base à escala 1:5000, foram utilizados ortofotos de diferentes datas (2006, 2012, 2016) cedidos pelo ICNF para a área da Reserva, tal como imagens do Sentinel-2 dos anos de 2016 a 2019 para identificação da ocupação do solo recorrendo a técnicas de deteção remota com recurso ao Semi-Automatic Classification Plugin do QGIS.

A produção cartográfica obtida através de recursos digitais sofreu verificação *in situ* contribuindo para a identificação da ocupação do solo, tendo sido realizadas diversas deslocações ao campo (RNPB) afim de garantir a identificação das espécies existentes e a sua localização (Anexo II).

O modelo conceptual estabelecido com recurso a tecnologias de informação geográfica assenta na identificação dos diferentes tipos de ocupação do solo (habitats) em diferentes períodos, permitindo a produção de cenários futuros com a conservação em mente.

Com a cartografia de 2006, 2012 e 2016 dos diferentes habitats existentes na RNPB e o tipo de vegetação que compõe cada um deles, verificou-se a necessidade de agrupar alguns habitats, associando características semelhantes no sentido de simplificar o processo de análise, o que deu origem à carta de ocupação do solo (LULC). Este processo de associação foi necessário para suprimir a falta de informação existente de períodos anteriores em comparação com os resultados do trabalho de campo, no que diz respeito à identificação de habitats. Os habitats foram associados na sequência apresentada na tabela 6.

Tabela 6 - Agrupamentos dos habitats para a criação da carta de ocupação do solo (LULC) para aplicar no *software* InVEST

<i>Habitat</i>	Designação	LULC
3130	Águas paradas, oligotróficas a mesotróficas, com vegetação da <i>Littorelleteauniflorae</i> e / ou da <i>Isoeto-Nanojuncetea</i>	Água
3150	Lagos eutróficos naturais com vegetação da <i>Magnopotamion</i> ou <i>Hydrocharition</i>	
3260	Curso de água dos pisos basal a montano com vegetação da <i>Ranunculionfluitantis</i> e da <i>Callitricho-Batrachion</i>	Galeria
3280	Cursos de água mediterrânicos permanentes da <i>Paspalo-Agrostidion</i> com cortinas arbóreas ribeirinhas de <i>Salix e Populus alba</i>	
3290	Cursos de água mediterrânicos intermitentes da <i>Paspalo-Agrostidion</i>	
92A0	Florestas-galerias de <i>Salix alba</i> e <i>Populus alba</i>	Salgueiro
6420	Pradarias húmidas mediterrânicas de ervas altas da <i>Molinio-Holoschoenion</i>	Prados
91B0	Freixiais termófilos de <i>Fraxinus angustifolia</i>	Freixial
9240	Carvalhais ibéricos de <i>Quercus faginea</i> e <i>Quercus canariensis</i>	Floresta Mediterrânica
6310	Montados de <i>Quercus</i> spp. de folha perene	
9330	Florestas de <i>Quercus suber</i>	
	Agricultura	Agrícola
	Área Urbana e infraestruturas ferroviárias	Urbano
	Canas, <i>Arundo donax L.</i>	Invasoras
	Eucaliptos, <i>Eucalyptus globulus</i>	Floresta Industrial

A junção dos habitats foi realizada tendo em conta a importância de cada um deles para a conservação e biodiversidade dos ecossistemas da Reserva, sendo que as áreas de plantação florestal, agrícolas, urbanas e de infraestruturas ferroviárias não foram agrupadas, sendo cada uma delas considerada uma classe de ocupação do solo.

Com as diferentes cartografias homogeneizadas e agrupadas em 10 classes (Tabela 7), procedeu-se à conversão das camadas vetoriais para o formato raster com recurso à função *v.to.raster* do GRASS para uma resolução espacial de 0.5 metros tendo em conta o estudo apresentado por Hengl (2006). A cartografia produzida foi também convertida para uma resolução espacial de 10 metros, em virtude de os resultados da deteção remota também terem essa resolução.

Tabela 7 - Classificação da ocupação do solo

<i>LULC</i>	NAME
<i>1</i>	Agrícola
<i>2</i>	Urbano
<i>3</i>	Prados
<i>4</i>	Galeria
<i>5</i>	Águas
<i>6</i>	Invasoras
<i>7</i>	Floresta Industrial
<i>8</i>	Floresta Mediterrânica
<i>9</i>	Freixial
<i>10</i>	Salgueiro

O resultado das diferentes cartografias apresentado nas figuras 26, 28 e 30 foi originado pela homogeneização da classificação de habitats e resolução espacial.

Na figura 26 são representadas 10 classes LULC referentes ao ano de 2006, utilizada no modelo InVEST como mapa base de entrada, apresentando-se como a cartografia mais antiga que se conseguiu produzir tendo em conta todos os parâmetros já descritos anteriormente, como sendo os habitats existentes na Reserva em 2006.

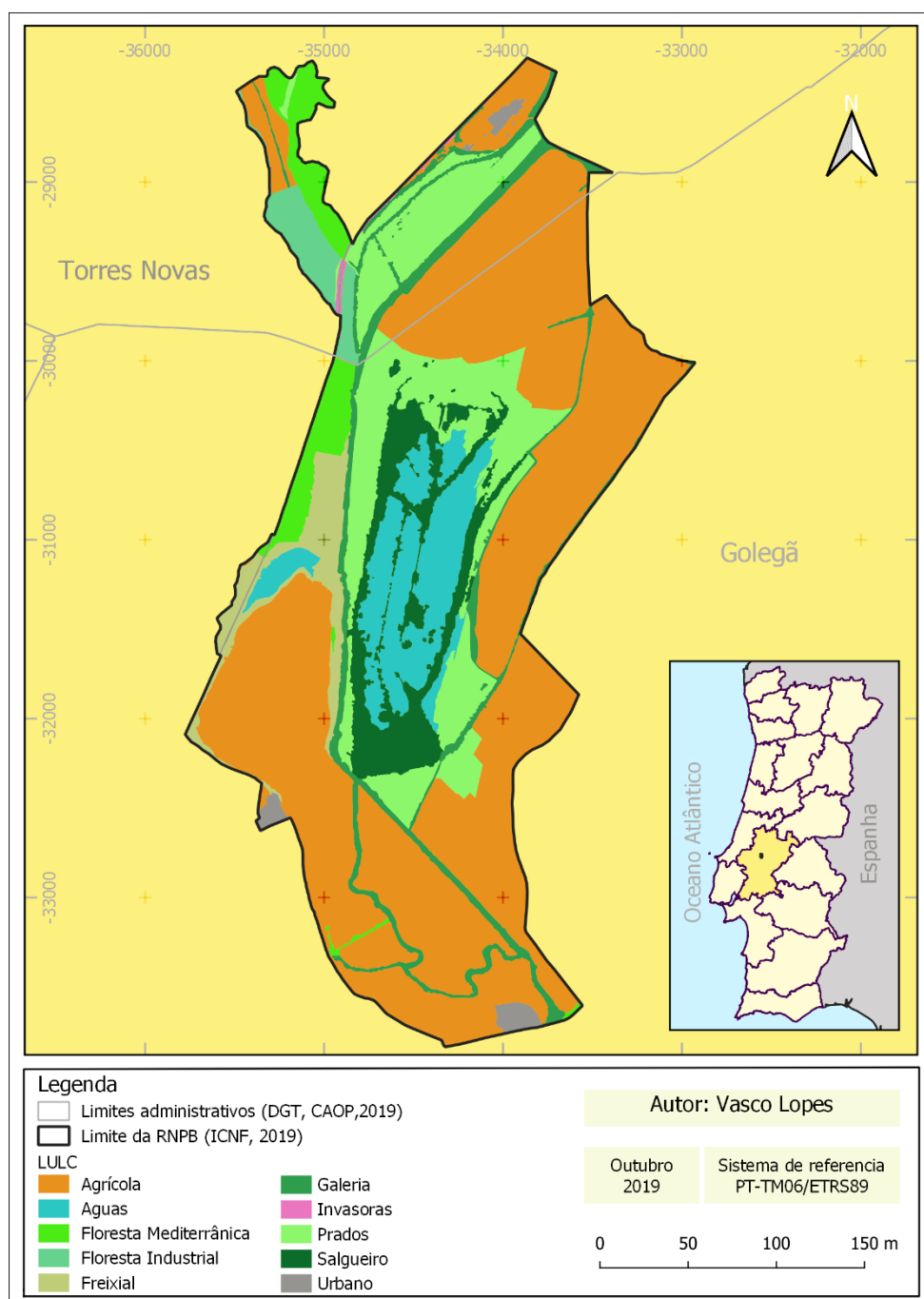


Figura 26 - Ocupação do solo (LULC_b), ano 2006

No mapa apresentado na figura 26 podemos verificar geograficamente as áreas ocupadas com os diferentes LULC. Na figura 27 encontra-se graficamente representada a percentagem de ocupação, em 2006, dos tipos de LULC, onde a área agrícola é predominante e ocupa cerca de 53%, seguida da área do pastoreio com cerca de 15%. Esta área é predominantemente ocupada por vegetação herbácea, onde nalguns locais podem surgir algumas espécies arbóreas como é o caso do freixo.

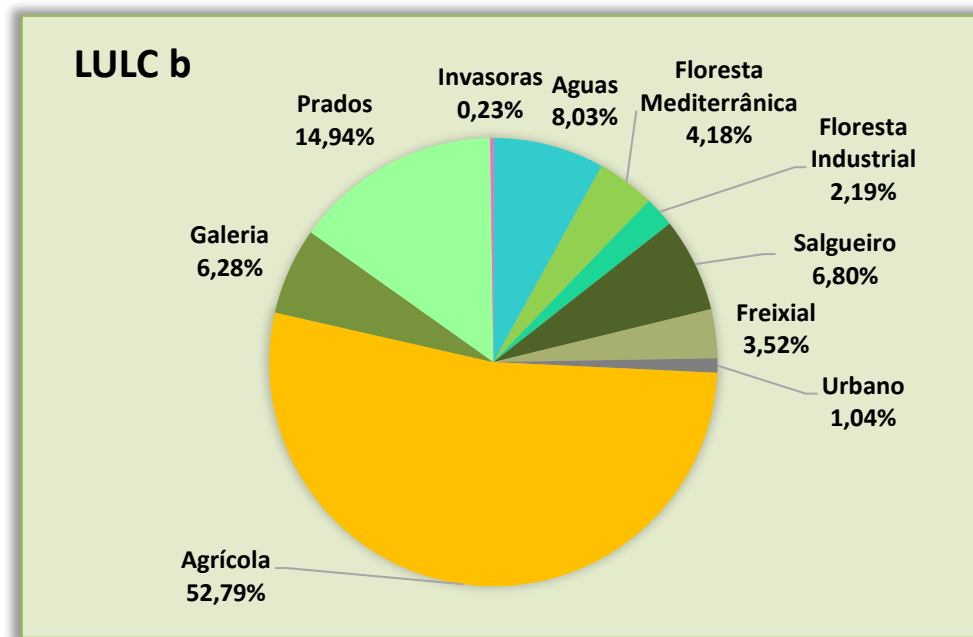


Figura 27 - Gráfico da percentagem de ocupação do solo nas classes LULC b referente ao ano 2006

A área ocupada pela galeria ripícola corresponde às margens do rio Almonda com 6.28%, já a área inundada é de 8.03%, sendo bordeada por salgueiros que ocupam 6.8% e o freixo é representado na zona de transição entre a área húmida e a zona mais seca com uma área de 3.52% sendo que a área florestal mediterrânica, ocupada principalmente por *Quercus spp*, ocupa 4.18%.

No mapa da figura 28 podemos observar o LULC no ano de 2012 que corresponde ao agrupamento descrito na tabela 6 dos diferentes habitats identificados por Godinho *et al.*, 2012 e a sua distribuição na área da Reserva do Paul do Boquilobo.

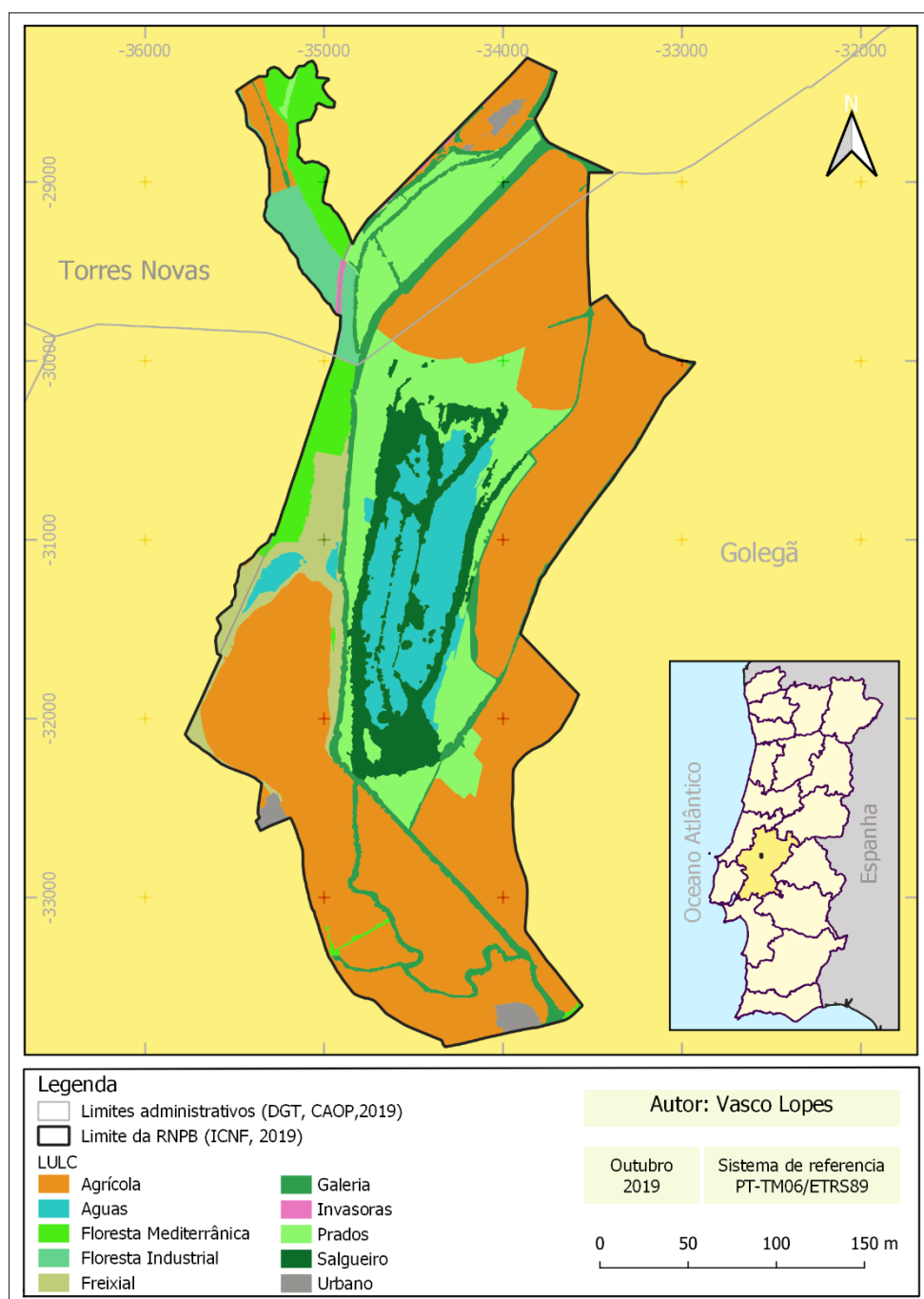


Figura 28 - Ocupação do solo (LULC_c), ano 2012

Na evolução da ocupação do solo de 2006 para 2012 não se verificam grandes alterações, podendo apontar-se uma diminuição da área de salgueiro na zona norte da extensão ocupada por esta espécie e uma diminuição da área de água no Braço de Cortiço, a lagoa natural situada mais a este da margem esquerda do Rio Almonda.

Em termos de percentagem de ocupação do solo nas diferentes LULC em 2012, apresentada na figura 29, verifica-se que as áreas se mantêm muito idênticas em relação às do gráfico da figura 27, referente ao ano de 2006.

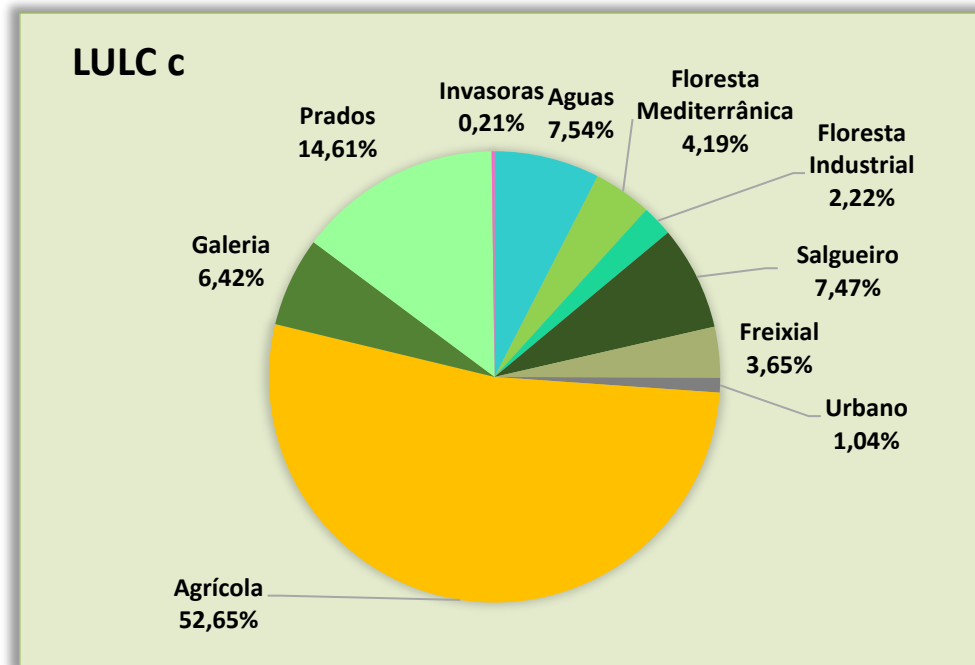


Figura 29 - Gráfico da percentagem de ocupação do solo nas classes LULC c referente ao ano 2012

No gráfico da figura 29 continua a observar-se a predominância da agricultura com cerca de 53%, as áreas ocupadas por floresta industrial, floresta mediterrânica, invasoras e área urbana mantêm as áreas de 2006 LULC. Em termos de mudanças, verifica-se que a área inundável diminuiu para 7.54%, a área de salgueiro aumentou para 7.47% e a área de prado diminuiu para 14.61%.

No mapa da figura 30 que representa a ocupação do solo em 2016 e onde podemos observar geograficamente a distribuição das diferentes LULC em termos espaciais, é de realçar que existe uma perda de vegetação na parte integral da reserva. Este facto deve-se à nidificação das garças, que com os seus ninhos e excrementos provocam uma degradação dos salgueiros, resultando na morte dos mesmos.

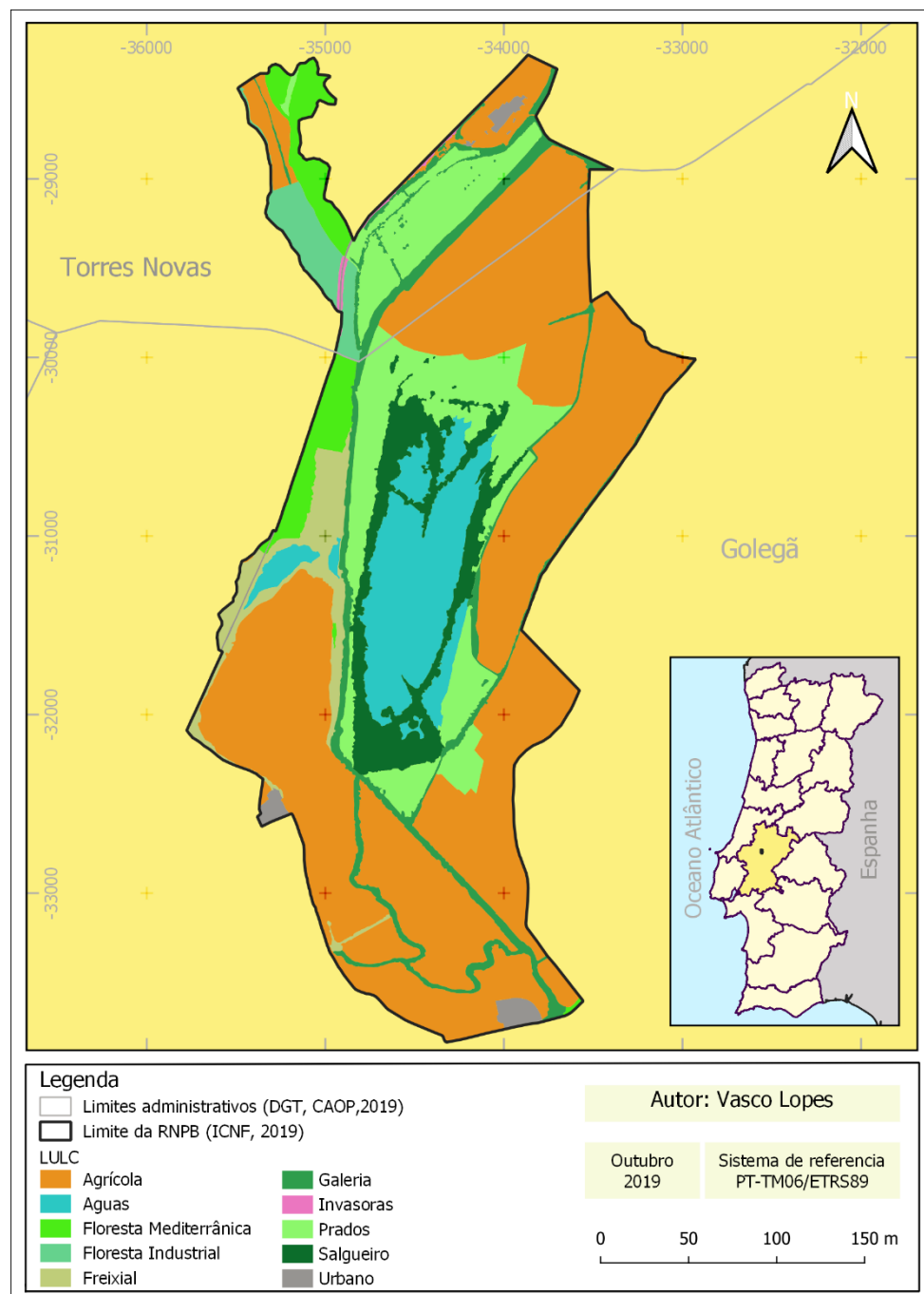


Figura 30 - Ocupação do solo (LULC_f), ano 2016

A área de proteção total da reserva, zona central que inclui a zona permanentemente inundada, apresenta em termos evolutivos uma tendência de diminuição da vegetação relativamente aos anos anteriores, estando a área a norte desta também em processo de reconversão da ocupação do solo com a perda de salgueiro e ocupação por vegetação rasteira, predominantemente herbáceas, com características de prados de zonas húmidas.

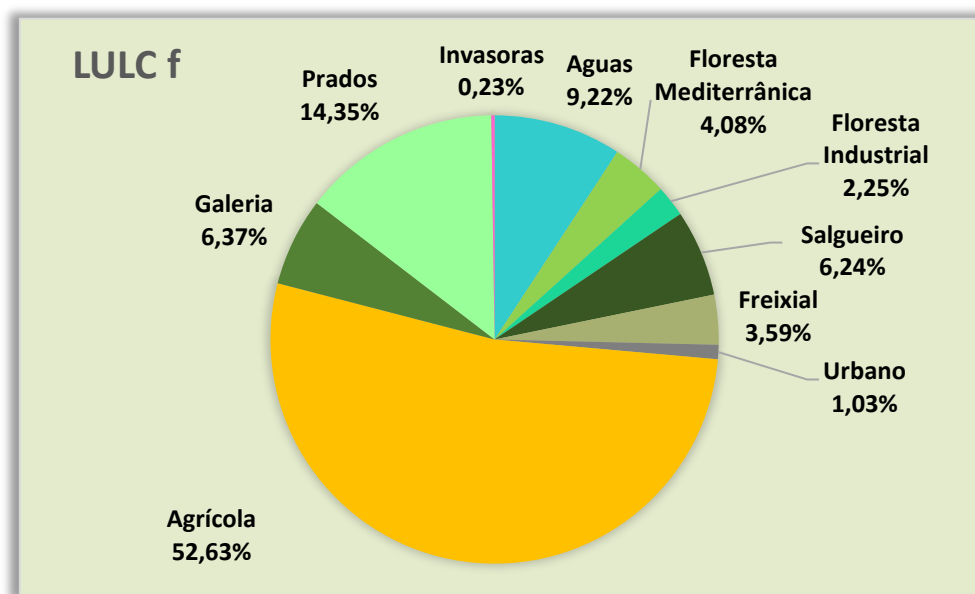


Figura 31 - Gráfico da percentagem de ocupação do solo nas classes LULC f referente ao ano de 2016

No gráfico da figura 31 observam-se as diferentes percentagens de ocupação do solo em 2016, onde se verifica um aumento da área ocupada por água para 9.22% devido ao facto da degradação e diminuição da área ocupada por salgueiro para 6.24%. As áreas ocupadas por floresta industrial, floresta mediterrânica, invasoras e área urbana mantêm as áreas de 2006 LULC_b e de 2012 LULC_c, pelo que se verifica que as oscilações são predominantemente na área de proteção total.

A evolução da ocupação do solo na área em estudo encontra-se representada no gráfico da figura 32 onde se observa que as maiores diferenças se encontram na área ocupada por água que está a aumentar devido à diminuição da área ocupada por salgueiro, o que não significa que a área inundável esteja a aumentar, muito pelo contrário. Esta aparente tendência verifica-se pela quantificação cartográfica de LULC que pelo facto, da cobertura pelas copas de salgueiro estar em declínio, e por isso estas áreas passam a ser quantificadas como água. A ocupação de

prado, que está a diminuir, estas áreas passam a ser quantificadas como água. A área ocupada por prados, está a diminuir, embora estes se encontrem a ocupar áreas inundáveis devido à recessão das margens, provavelmente devido ao rebaixamento do lençol freático causado pela maior utilização de água na agricultura, eventualmente associada a tipologia de culturas e alterações climáticas (Gaglio *et al.*, 2019).

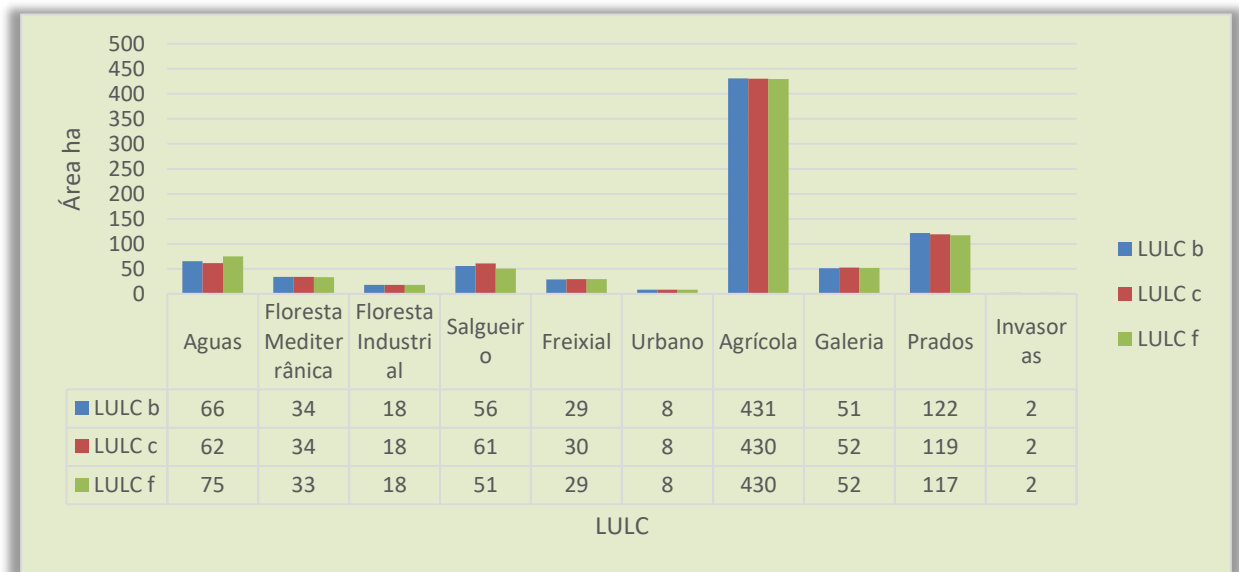


Figura 32 - Gráfico de comparação do LULC_b, LULC_c e LULC_f

A área agrícola é uma das que se mantém praticamente inalterável ao longo do período em estudo, a par das áreas de invasoras, galeria ripícola, floresta industrial e área urbana.

O modelo de qualidade dos habitats do *software* InVEST também carece da identificação das diferentes ameaças em termos geográficos para cada um dos tipos de LULC. Estas ameaças podem observar-se na figura 33 onde se representam as áreas ocupadas por cada ameaça no presente e no futuro. Para o modelo criado assumimos que o ano de 2012 corresponde ao presente e que o ano de 2016 representa o cenário futuro; desta forma assumimos as tendências reais a aplicar a simulações projetadas para cenários futuros.

As ameaças que foram ponderadas neste trabalho tiveram em linha de conta a determinação da qualidade dos habitats e recaíram sobre a agricultura (fertilização artificial), freixial e invasoras (fácil propagação das espécies), prados (pastorícia intensiva associada) e salgueiros (sensibilidade a alterações).

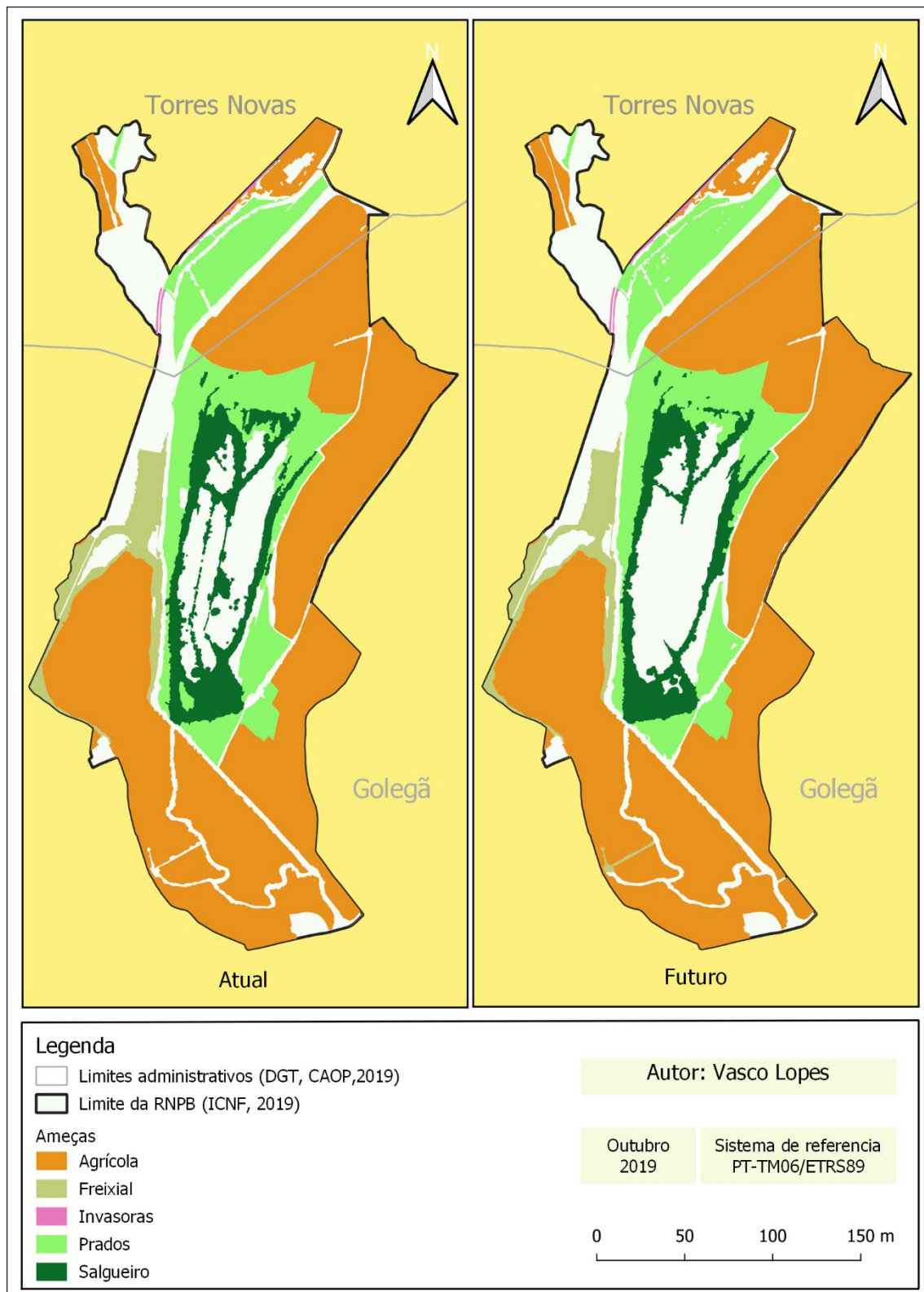


Figura 33 - Ameaças no cenário atual e futuro

Na observação do mapa da figura 33 verifica-se as diferenças dos dois cenários relativamente a áreas ocupadas com as ameaças definidas para o presente trabalho.

Na tabela 8 indicam-se as várias ameaças, apresentando-se as respetivas distâncias da influência (em quilómetros) e o peso de cada uma delas, podendo definir-se qual a função de propagação da ameaça: função linear no caso da ameaça do pastoreio, ao passo que nas ameaças da agricultura, invasoras, salgueiros e freixial foi utilizada a função exponencial.

Os parâmetros de ameaças que se apresentam na tabela 8 foram determinados a partir de conhecimento de especialistas na gestão de áreas protegidas, e tendo em conta o que bibliograficamente é referenciado como utilizado para monitorização de áreas no *software* de qualidade de habitats do InVEST (Terrado *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2019).

Tabela 8 - Ameaças, distâncias, impactes e tipo de deterioração para a RNPB

MAX_DIST	WEIGHT	THREAT	DECAY
0.05	1	agric	exponential
0.03	0.9	invas	exponential
0.1	0.8	past	linear
0.1	0.6	salg	exponential
0.1	0.7	freix	exponential

No que diz respeito ainda a dados necessários para o modelo, no quadro da tabela 9 foram definidos os valores de sensibilidade dos habitats relativamente a cada ameaça. Foram atribuídos valores de 0 a 1 à sensibilidade específica dos habitats, de modo que os habitats menos sensíveis possuem valor menor e conforme aumenta a sensibilidade e a importância do habitat para a Reserva, maior é o valor que foi atribuído. Por esta razão, as águas interiores do paul possuem o valor de 1, sendo seguidas pelo salgueiral com o valor de 0.9 e pela galeria ripícola com 0.8. À floresta mediterrânica, que é ocupada maioritariamente por *Quercus*, atribuiu-se o valor de 0.7 e ao freixial o valor de 0.6, enquanto às áreas de prados se atribuiu 0.5. Às restantes áreas que foram consideradas como habitats, mas que não são predominantemente naturais, foram atribuídos os valores mais baixos.

Os pesos das ameaças relativamente às LULC também foram atribuídos a partir de conhecimento de especialistas na avaliação da qualidade e gestão de áreas protegidas, e tendo em conta também bibliografia que considera áreas idênticas e recorreu à utilização do modelo

de qualidade de habitats do InVEST (Terrado *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2019).

Tabela 9 - Sensibilidades dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça na RNPB

LULC	NAME	HABITAT	L_agric	L_invas	L_past	L_salg	L_freix
1	Agrícola	0.2	0.0	1.0	0.2	0.1	0.1
2	Urbano	0.1	1.0	0.1	0.1	0.1	0.0
3	Prados	0.5	0.8	0.8	0.1	0.4	0.9
4	Galeria	0.8	0.9	0.9	0.9	0.0	0.9
5	Águas	1.0	0.9	0.6	0.2	1.0	0.7
6	Invasoras	0.2	0.1	0.0	0.1	0.5	0.3
7	Floresta Industrial	0.3	0.3	0.8	0.0	0.4	0.4
8	Floresta Mediterrânica	0.7	0.6	0.9	0.1	0.1	0.8
9	Freixial	0.6	0.8	0.9	0.2	0.6	0.0
10	Salgueiro	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0

Os valores apresentados no quadro da tabela 9 tem como principio quais as ameaças que podem deteriorar as diferentes ocupações LULC tendo em conta tanto a sua área geográfica, como o potencial de propagação das ameaças nalguns habitats que possam ser mais sensíveis.

4.3 QUALIDADE DOS HABITATS SOFTWARE INVEST

Os modelos InVEST, resultado do trabalho do Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), representam hoje uma ferramenta gratuita de análise de ecossistemas adequada aos objetivos deste trabalho, embora possa vir a sofrer futuramente melhorias e evolução, tal como todas as ferramentas tecnológicas.

Os resultados da qualidade dos habitats na área da Reserva Natural do Paul do Boquilobo avaliados tendo por base o ano de 2006 e como futuro o ano de 2016 apontam para uma degradação nos habitats situados na área de proteção total da Reserva devido principalmente à diminuição da ocupação do solo com os salgueiros em virtude da degradação desta espécie no interior da Reserva, como se pode observar na comparação das figuras 34 e 35 que correspondem, respetivamente, à qualidade dos habitats atuais e à qualidade dos habitats futuros.

A qualidade dos habitats no período em estudo reflete uma tendencial deterioração dos habitats entre 2012 (figura 34) e 2016 (figura 35), notória na alteração da ocupação do solo da área central da Reserva que corresponde à zona de proteção total e áreas limítrofes.

No sentido de representar graficamente a deterioração ou alteração dos habitats da reserva efetuou-se a operação de subtração do mapa de 2016 pelo mapa de 2012 na função de calculadora de raster do QGIS. Deste diferencial entre a qualidade dos habitats futuros e a qualidade dos habitats atuais podemos observar na figura 36 que, grosso modo, a área da Reserva e principalmente a área agrícola mantém a qualidade. Já a área inundada, à qual atribuímos a LULC como águas, considerando-se a sua maior importância para a Reserva, observa-se um ligeiro aumento de qualidade devido à perda da área de salgueiro. Este facto ocorre porque foi atribuído um menor peso a este LULC e com a perda deste em detrimento do LULC de águas aumenta a qualidade, o que na prática não se verifica porque a extensão de cobertura de água é inferior. Pelo contrário, a área de salgueiro que se encontra numa zona marginal com a área de pastoreio, e por isso com menos humidade, confere uma perda de qualidade dos habitats, verificando-se também uma perda deste habitat de grande importância para a Reserva.

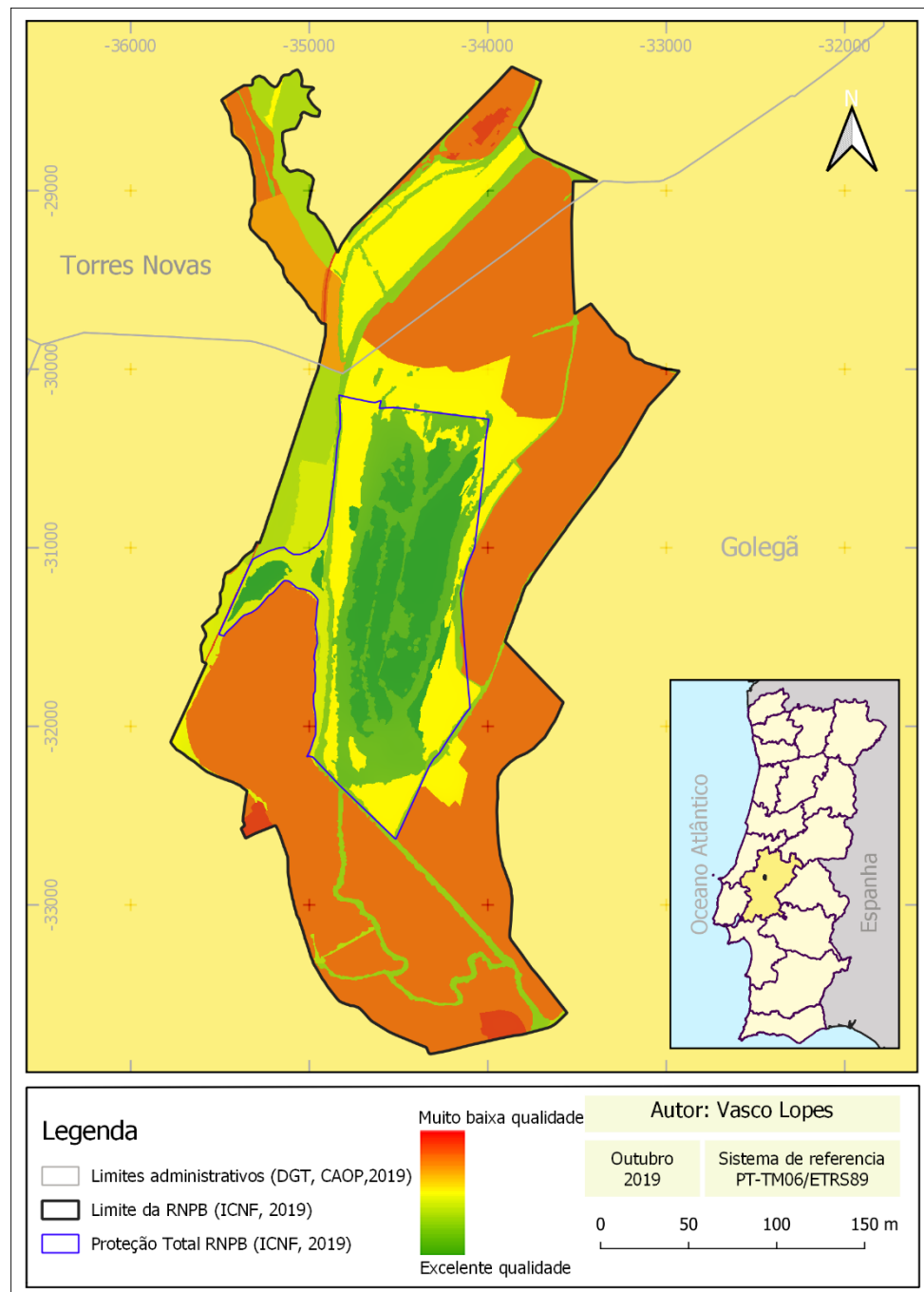


Figura 34 - Qualidade atual dos habitats, cenário normal

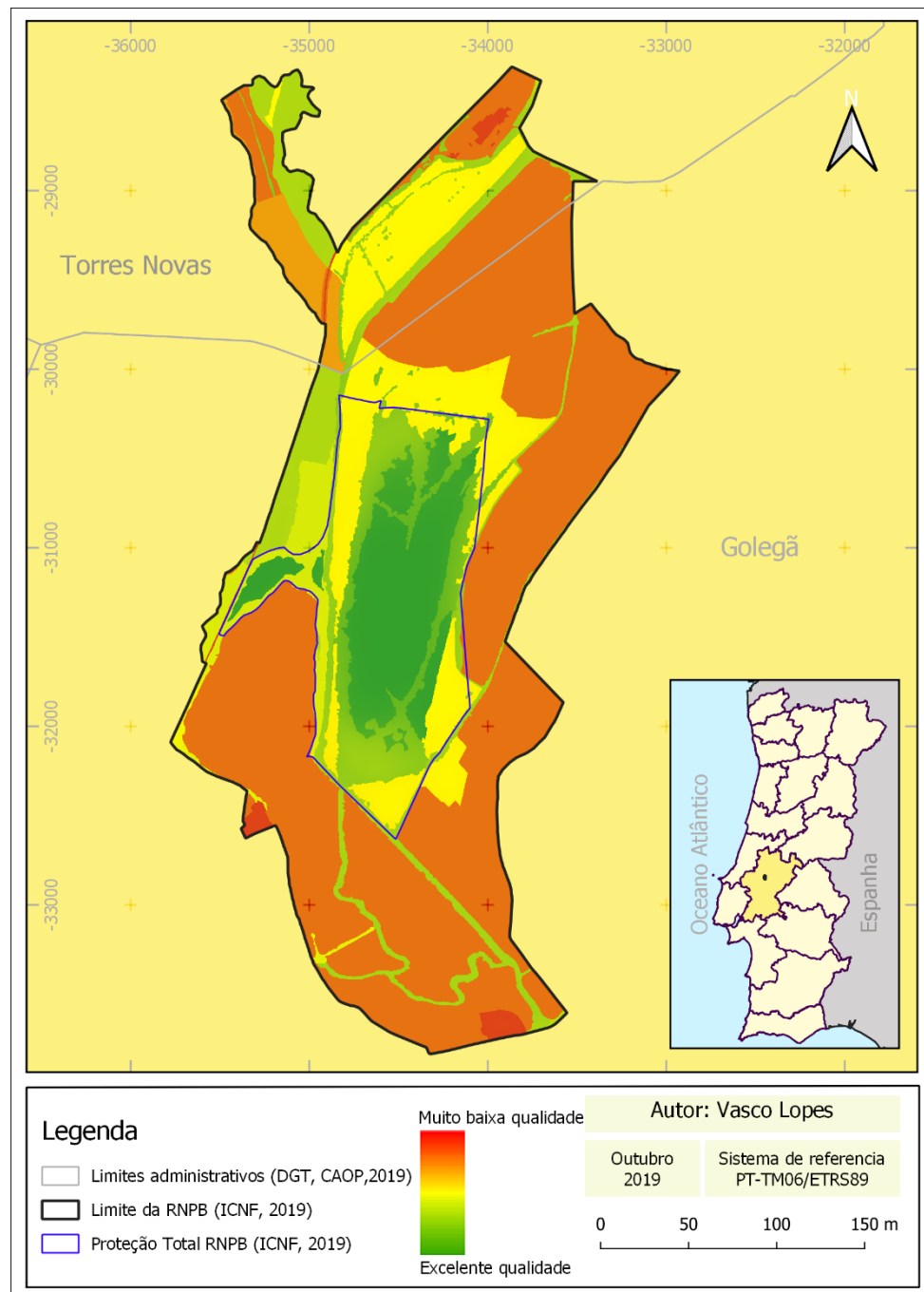


Figura 35 - Qualidade futura dos habitats, cenário normal

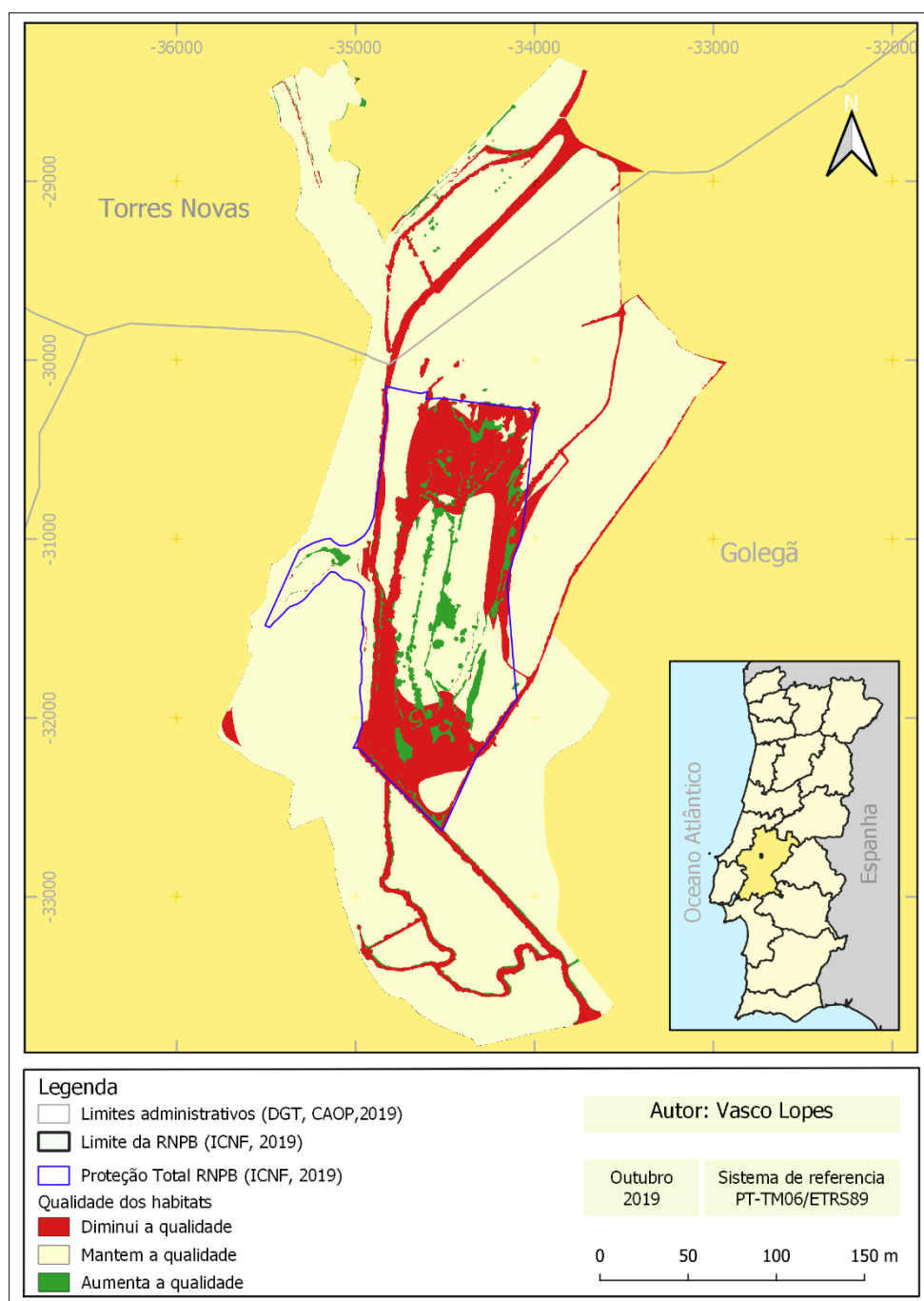


Figura 36 - Diferença entre o futuro e o atual cenário normal

Com o objetivo de avaliar o grau de deterioração, reclassificaram-se os mapas dos cenários atual e futuro resultantes do modelo de Qualidade de Habitats do InVEST apresentados na figura 37. Os mapas de qualidade dos habitats produzidos pela reclassificação (figuras 38 e 39 respetivamente) mostram a biodiversidade em termos de modelação da qualidade do habitat atual resultados (figura 38) com valores de índice que variam de 0 (não qualificado) a 1 (melhor qualidade). Na discussão, o índice é classificado em 5 classes, repartidas do seguinte modo:

muito baixa qualidade - (0-0,2); baixa qualidade - (0,2-0,4); qualidade média - (0,4-0,6); boa qualidade - (0,6-0,8) e excelente qualidade - (0,8-1).

Dos resultados encontrados é possível verificar que de acordo com as tendências reais de evolução as perspectivas futuras são de deterioração da qualidade dos habitats, podendo extrapolar-se a 10 anos o cenário. É evidente que os graus de deterioração variam entre 2% a 3% para as classes de melhor qualidade e de pior qualidade respetivamente, onde a qualidade média se mantém. Este resultado resulta do sistema de gestão em vigor por parte do Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), e que poderá ser interpretado como adequado, no entanto os dados podem ser utilizados como indicadores de novas medidas de conservação em áreas estratégicas identificadas pelo modelo produzido.

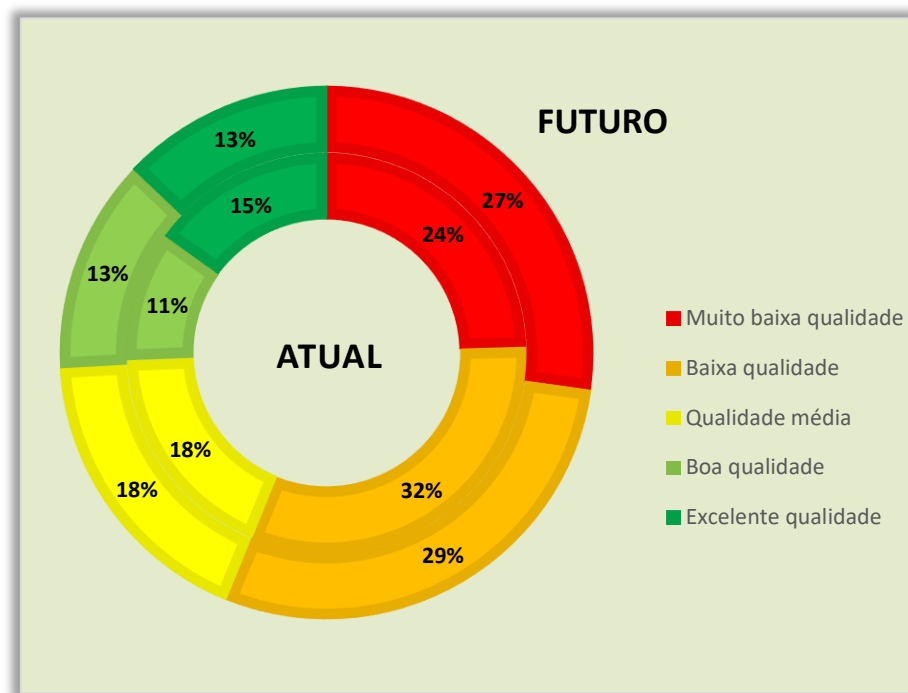


Figura 37 - Gráfico de comparação das áreas de cada classe atual e futuramente

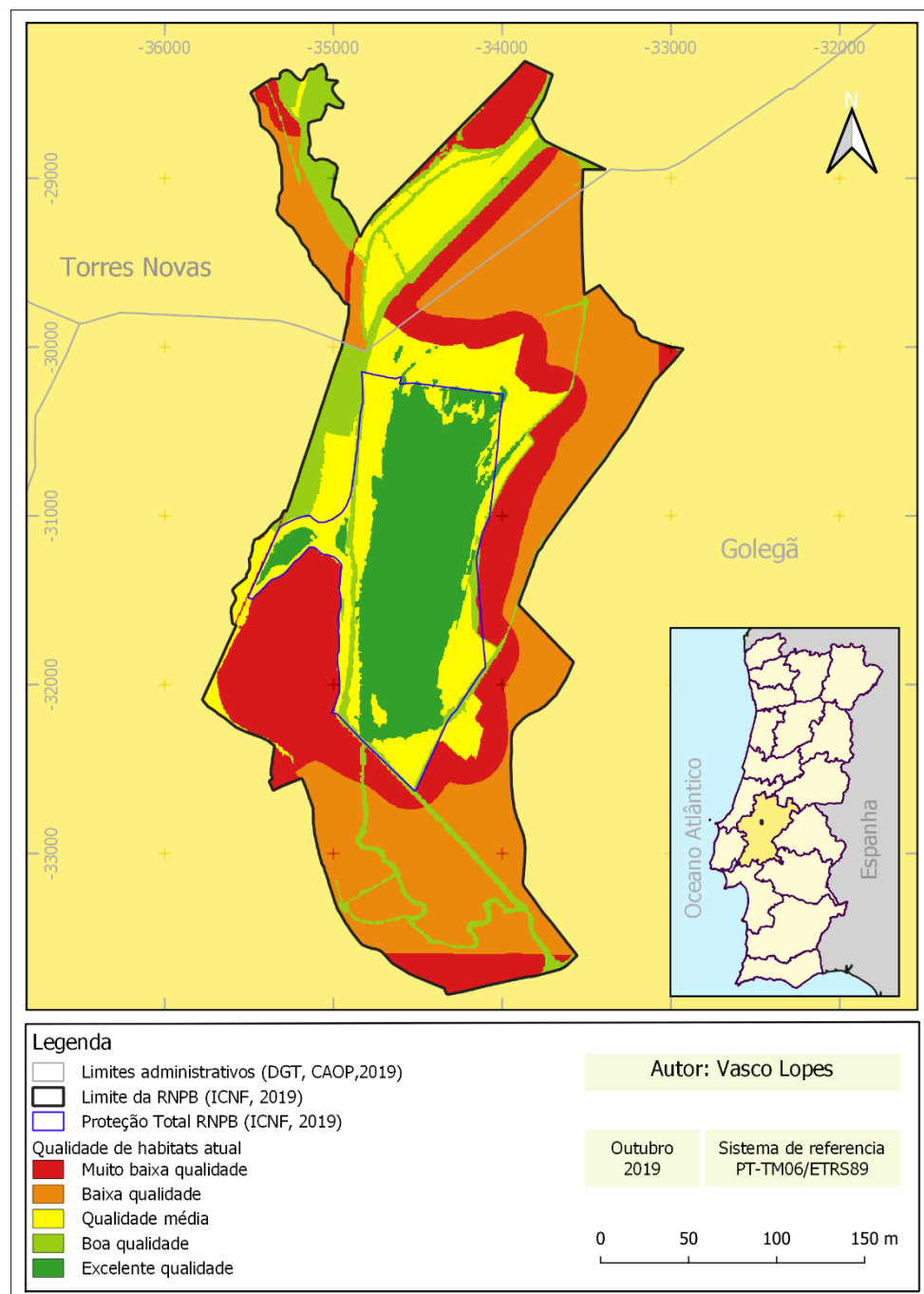


Figura 38 - Qualidade atual dos habitats por classes

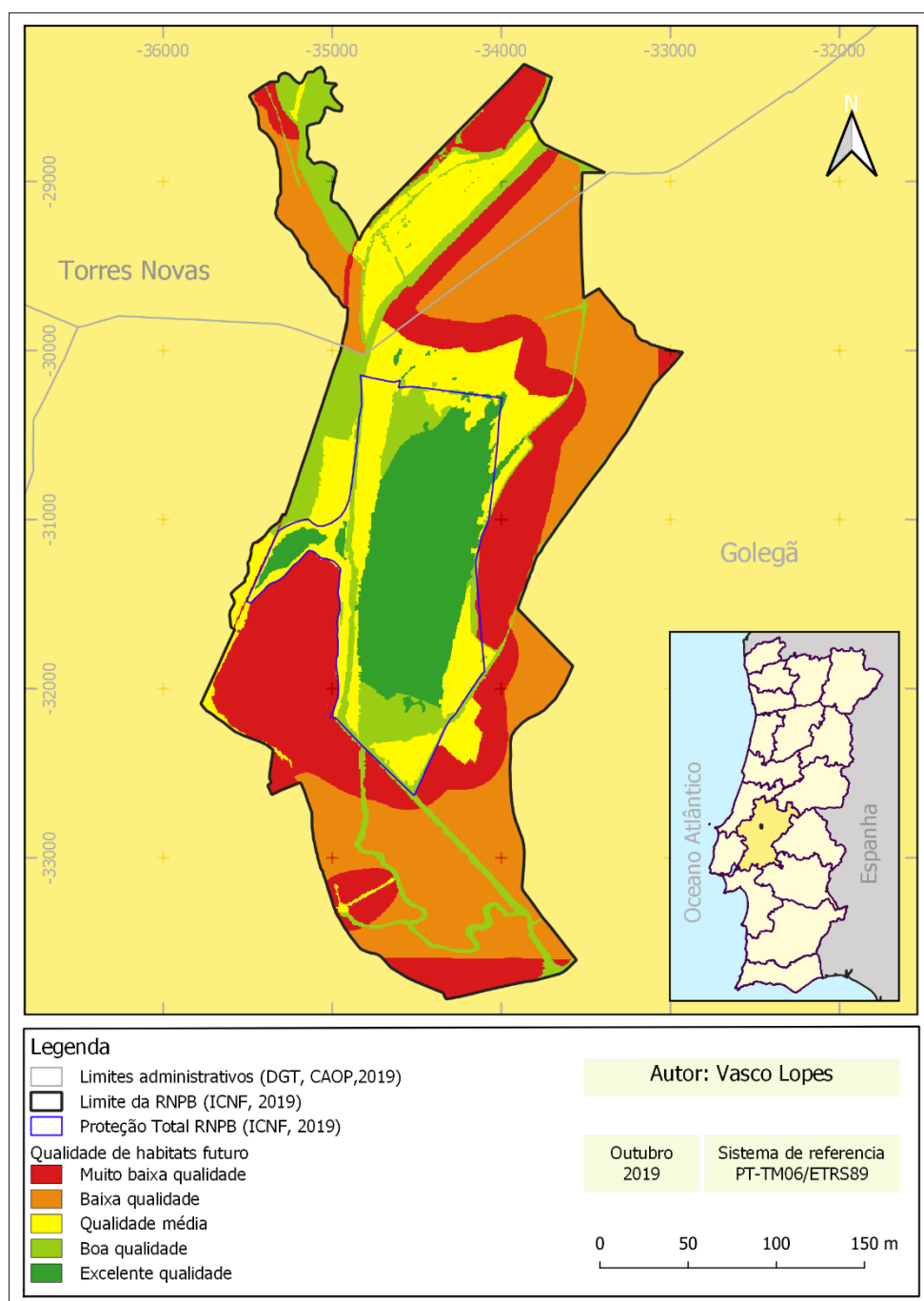


Figura 39 - Qualidade futura dos habitats por classes

A simplificação de classes é também uma das formas de demonstrar as tendências com uma maior representatividade visual para efeitos de sensibilização para o problema. Certo é que para a investigação e gestão desta reserva, e de todas as outras, a cartografia mais detalhada é uma necessidade.

4.4 CENÁRIOS FUTUROS DA QUALIDADE DOS HABITATS COM O MODELO INVEST

Os cenários futuros utilizados no modelo InVEST de qualidade dos habitats tiveram por base as alterações climáticas. O período de projeção utilizado, em concordância com vários estudos publicados na especialidade, considera o cenário para 2040 (Gaglio *et al.*, 2019) onde se perspetiva uma diminuição da precipitação e um aumento das temperaturas medias segundo os dados publicados no site do portal do clima (PC, 2019). Da projeção de temperatura e precipitação para o período de 2011 a 2040 e 2041 a 2070 no cenário RCP 4.5 e RCP 8.5 apresentado neste portal, utilizámos para os dados da área de influência da Reserva Natural do Paul do Boquilobo a Lezíria do Tejo no cenário RCP 8.5 como se pode observar no gráfico da figura 40.

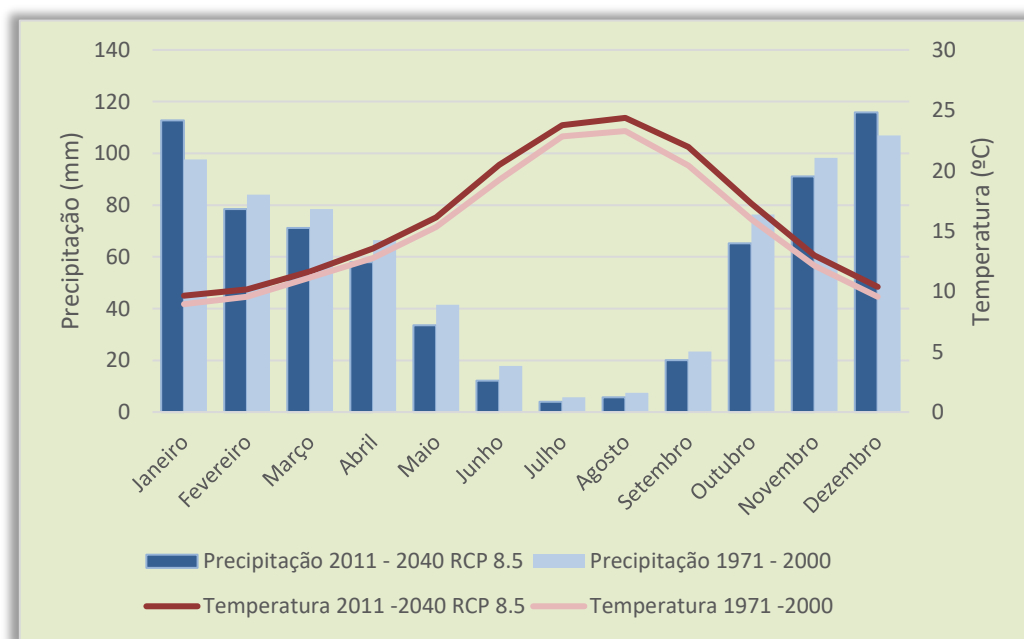


Figura 40 - Gráfico Termopluviométrico de 1971 a 2000 e 2011 a 2040 RCP 8.5 (Fonte: PC, 2019)

No gráfico da figura 40 a temperatura no período de 2011 a 2040 prevê um aumento da temperatura em todos os meses do ano em cerca de 1C° a 2 C° e, por sua vez, a perda de precipitação em todos os meses do ano, à exceção dos meses de dezembro e janeiro onde se prevê um aumento da precipitação, contudo a media anual baixa em aproximadamente 3 mm, fato importante para a reserva que é uma zona húmida.

Com este cenário foram projetados, duas possíveis evoluções da ocupação do solo na área da reserva, tendo por base a qualidade atual dos habitats (figura 41) e as projeções futuras para 2040 em que foram desenvolvidos: “Cenário de negócios - BUS” e um “cenário de naturalização - NAT”. Os dois cenários são apenas simulações de cenários que representam extremos de gestão, podendo ser utilizados como indicadores de estratégias a seguir, onde a evolução dos habitats segue as tendências apresentadas nas tabelas 10 e 11, elaboradas.

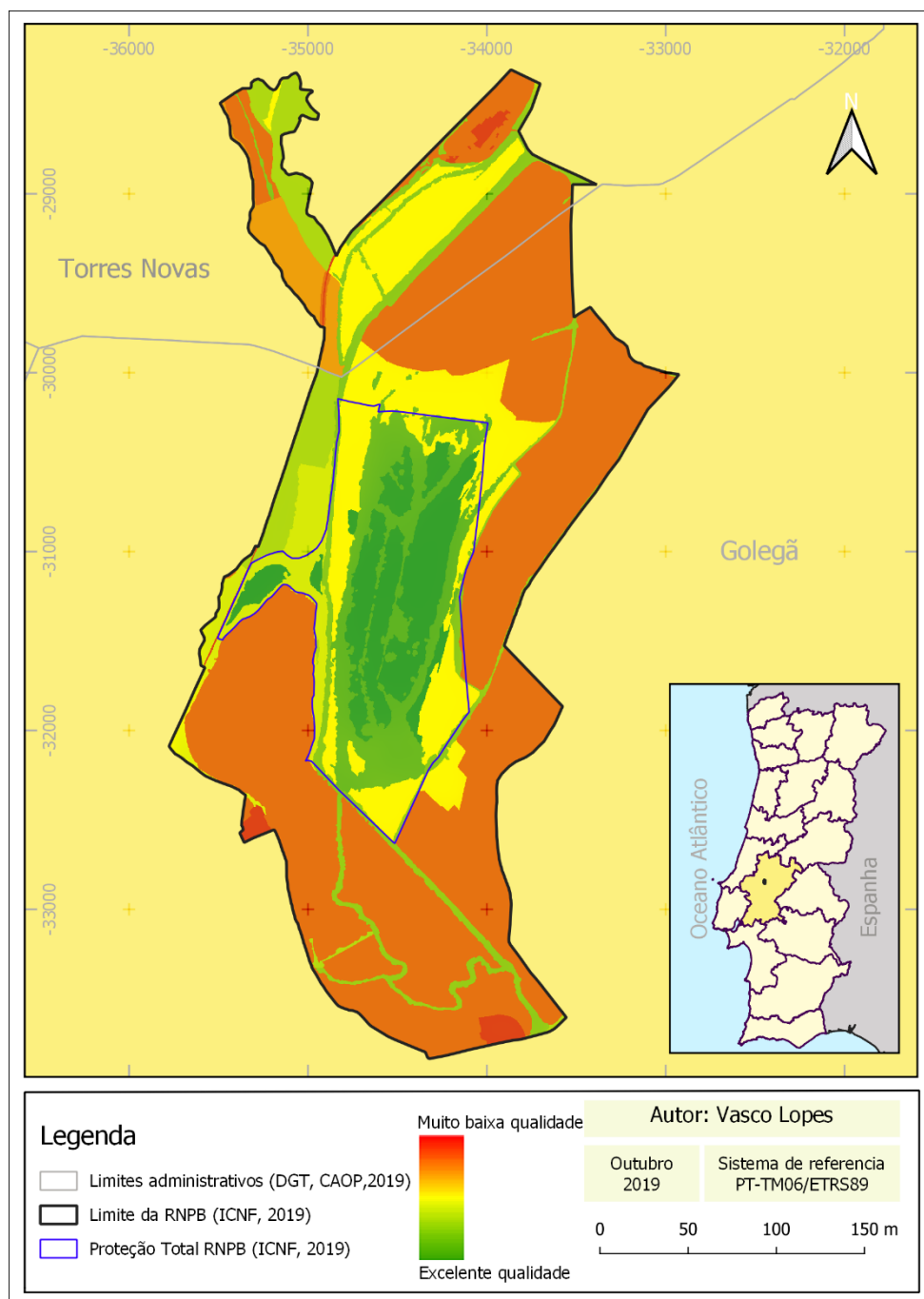


Figura 41 - Qualidade atual dos habitats

O cenário BUS (figura 42) foi obtido reclassificando todas as terras privadas de cenário de 2016 para as áreas agrícolas e produção florestal conforme tabela 10.

Tabela 10 - Classificação da ocupação do solo e reclassificação para o cenário BUS

<i>Área de proteção</i>	Classificação atual		Classificação cenário BUS	
	LULC	NAME	LULC	NAME
<i>Proteção total</i>	3	Prados	3	Prados
<i>Proteção total</i>	5	Águas	3	Prados
<i>Proteção total</i>	9	Freixial	9	Freixial
<i>Proteção total</i>	10	Salgueiro	9	Freixial
<i>Reserva</i>	1	Agrícola	1	Agrícola
<i>Reserva</i>	2	Urbano	2	Urbano
<i>Reserva</i>	3	Prados	1	Agrícola
<i>Reserva</i>	4	Galeria	4	Galeria
<i>Reserva</i>	6	Invasoras	6	Invasoras
<i>Reserva</i>	7	Floresta Industrial	7	Floresta Industrial
<i>Reserva</i>	8	Floresta Mediterrânica	7	Floresta Industrial
<i>Reserva</i>	9	Freixial	7	Floresta Industrial
<i>Reserva</i>	10	Salgueiro	7	Floresta Industrial

Assumiu-se que todas as terras privadas dentro da RNPB serão exploradas de forma a maximizar os lucros e, consequentemente, o rendimento dos proprietários, ou seja, a conversão para culturas irrigadas ou de sequeiro e plantações de espécies de crescimentos rápido choupo e eucalipto. Um cenário interessante é aquele proposto por Herring *et al.*, (2019) e outros por ele citados que defendem a utilização de campos de arroz, como aliás outrora fora prática na RNPB como estratégia de conservação de aves limícolas, maximizando os potenciais económico e de conservação. O cenário de evolução natural dos ecossistemas manter-se-á dentro da área de proteção total e na galeria ripícola em virtude de se encontrarem protegidas por lei e onde o Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Paul do Boquilobo recomenda a proteção do processo de evolução ecológica para condições de clímax dentro da área total protegida. Além disso, a presença de uma área de floresta de sobreiro na forma de montado seria também promovida nas terras pertencentes ao estado fora da área central de proteção, como recurso de paisagem tradicional considerando a evolução para fins económicos.

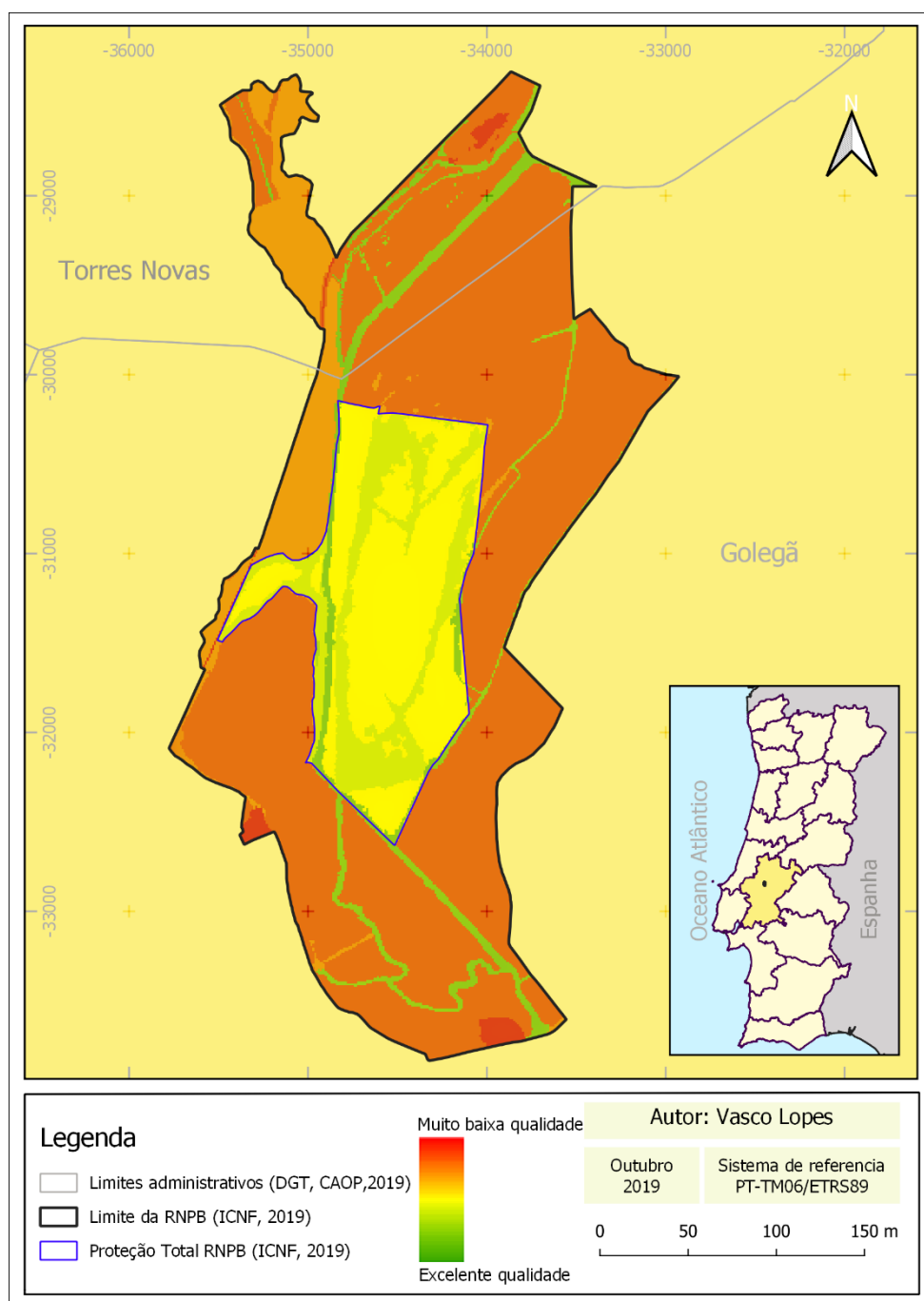


Figura 42 - Qualidade cenário futuro BUS

O cenário NAT (figura 43) foi projetado reclassificando todas as áreas mapeadas no cenário de 2016 para coberturas naturais do solo de acordo com a tabela 11.

Tabela 11 - Classificação da ocupação do solo e reclassificação para o cenário NAT

<i>Classificação atual</i>		Classificação cenário NAT	
<i>LULC</i>	NAME	LULC	NAME
<i>1</i>	Agrícola	3	Prados
<i>2</i>	Urbano	2	Urbano
<i>3</i>	Prados	3	Prados
<i>4</i>	Galeria	4	Galeria
<i>5</i>	Águas	3	Prados
<i>6</i>	Invasoras	6	Invasoras
<i>7</i>	Floresta Industrial	8	Floresta Mediterrânica
<i>8</i>	Floresta Mediterrânica	8	Floresta Mediterrânica
<i>9</i>	Freixial	9	Freixial
<i>10</i>	Salgueiro	9	Freixial

A projeção pressupõe que todas as áreas privadas serão adquiridas pelo estado a favor da RNPB sob as premissas das provisões do Plano de ordenamento que estão atualmente em vigor (ICNF, 2005). Assim, ocorreria um processo de naturalização da paisagem na maior parte da Reserva. A grande maioria das áreas passariam por processos de naturalização, áreas de plantação industrial de eucalipto e choupo seriam substituídas por pradarias mediterrânicas e as florestas de *Quercus* seriam mantidas na parte ocidental com o objetivo de preservar a paisagem tradicional.

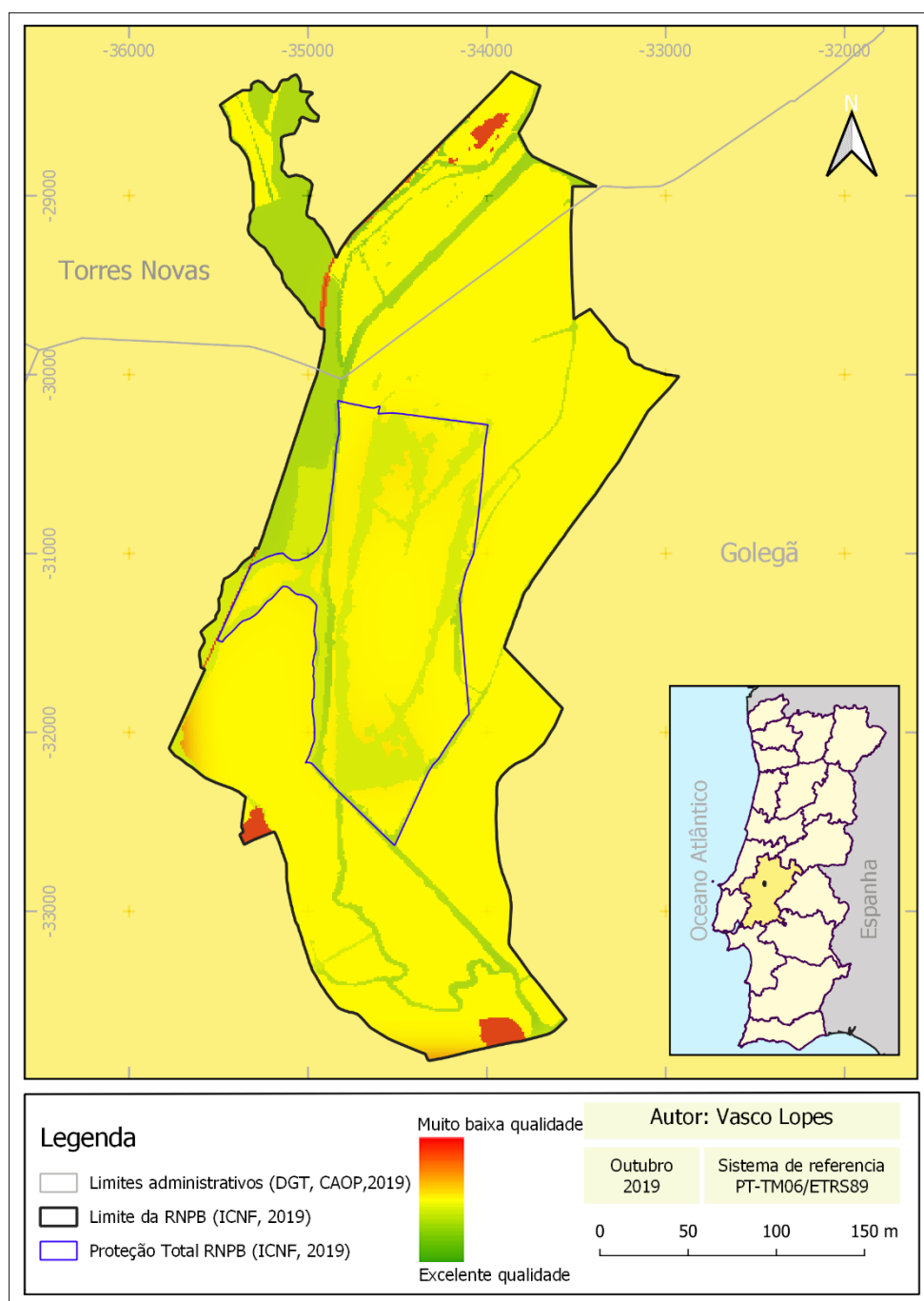


Figura 43 - Qualidade cenário futuro NAT

Os dois cenários LULC descritos acima descrevem os dois gradientes extremos opostos que definem o intervalo máximo de LULC mudanças na área de estudo e consequentemente os dois extremos dos cenários possíveis.

4.5 APLICAÇÃO DO MODELO À GARÇA

Os modelos apresentados são per se ferramentas de apoio à gestão de áreas protegidas, no entanto pretende-se neste subcapítulo demonstrar a aplicação específica deste modelo à conservação de espécies. Vários artigos publicados como por exemplo Bhagabati *et al.* (2014) e Terrado *et al.*, (2016), utilizam o modelo de qualidade de habitats adaptado à conservação de uma só espécie.

Com o objetivo de demonstrar a versatilidade dos modelos produzidos, considerou-se importante testar a sua aplicação a uma das espécies com interesse de conservação na Reserva Natural do Paul do Boquilobo a garça boieira (*Bubulcus ibis*) o símbolo da Reserva. Embora este exemplo seja apenas uma simulação, e este trabalho não tenha como objetivo a investigação em biologia da conservação, recorreu-se ao estudo das características da garça boieira a fim de produzir com o máximo de precisão possível a tabela de sensibilidade (tabela 12).

Tabela 12 - Sensibilidade dos tipos de cobertura do solo a cada ameaça da garça

LULC	NAME	HABITAT	L_gar
1	Agrícola	0.6	0.4
2	Urbano	0	1
3	Prados	0.6	0.1
4	Galeria	0.9	0.5
5	Águas	1	0
6	Invasoras	0	1
7	Floresta Industrial	0	0.9
8	Floresta Mediterrânica	0.5	0.8
9	Freixial	0.4	0.8
10	Salgueiro	0.9	0.6

O exercício de revisão bibliográfica sobre as preferências de habitat, alimentação, nidificação da garça boieira (Hafner 2000; Kushlan, 2000; Kour e Sahi, 2013) sumariados na tabela 12 podem ser resumidos a:

- Espécie indicadora de qualidade de habitat em zonas húmidas, limícola;
- Espécie bem distribuída com uma enorme capacidade de adaptação a condições antrópicas, desde que o alimento abunde;

- Alimentação diversificada o que auxilia a fácil adaptação, alimenta-se maioritariamente de insetos, no entanto pode capturar répteis, peixes, gastrópodes e pequenos mamíferos;
- Não tem preferência pelo habitat de nidificação desde que ofereça suporte, proteção contra predadores e abundante fonte de alimento na proximidade;
- Úteis para a agricultura no controlo de pragas (figura 44);
- Diversifica a sua alimentação ao longo do dia e sazonalmente escolhendo diferentes habitats;



Figura 44 - Imagens ilustrativa da atividade agrícola na envolvente da RNPB (Luis Santos, 2015)

A aplicação do modelo envolve considerar os vários habitats e a sua representatividade para a garça boieira, ou seja, quais a ameaçam (tabela 12) sendo que a ameaça a considerar é a própria garça tabela 13.

Tabela 13 - Ameaças, distâncias, impactes e tipo de deterioração para a garça

MAX_DIST	WEIGHT	THREAT	DECAY
0.9	1	gar	exponential

De acordo com as características biológicas da garça boieira, ao habitat agrícola foi atribuída a valorização de 0.6, representando uma ameaça de 0.4, este habitat de grande expressão na área do paul e envolvente, obviamente representa uma fonte de alimento de grande importância (figura 44); ao habitat urbano atribuiu-se a valorização de 0 e a ameaça de 1, sendo que, obviamente, esta é a tipologia de habitat que menos servirá os propósitos de conservação desta espécie; o habitat de prados, valorizado com 0.6, representa a ameaça mínima 0.1, sendo estas áreas temporariamente inundadas, onde o pastoreio também é praticado, vem beneficiar a alimentação desta espécie; ao habitat galeria ripícola foi atribuída a importância de 0.9 e a ameaça de 0.5, sendo uma área natural de grande importância fornece sombreamento aos habitats aquáticos e embora não sendo o ideal em termos de porte pela redução no sucesso

reprodutivo, poderá servir de local de nidificação aceitável na ausência de alternativas; ao habitat águas foi atribuída a importância máxima de 1 e a ameaça de 0, pelas óbvias características necessárias para estas aves limícolas; ao habitat invasoras, neste caso os canaviais, foi atribuída a importância de 0 e a ameaça de 1, pelo motivo de inadequação a esta espécie; ao habitat de floresta industrial foi atribuída a importância de 0 e a ameaça de 0.9, que embora seja um habitat esporadicamente utilizado por esta espécie, não é adequado aos propósitos de conservação; ao habitat floresta mediterrânea foi atribuída a importância de 0.5 e a ameaça de 0.8, motivada pela diferença entre montado, que detém práticas agro-silvo-pastoris, enquanto a floresta devido às suas características contínuas não favorecem a alimentação desta espécie, que prefere espaços mais abertos; ao habitat freixial foi atribuída a importância de 0.4 e a ameaça de 0.8, pelos mesmos motivos que a floresta mediterrânea resumidos à densidade da floresta desta espécie; finalmente ao habitat de salgueiro foi atribuída a importância de 0.9 e a ameaça de 0.6, pela especificidade desta espécie em sobreviver em áreas inundadas, o que fornece condições perfeitas para a nidificação e sucesso desta espécie na RNPB.

As aplicações das condições descritas foram consideradas no modelo de qualidade de habitat, figuras 45 e 46 que fornecem informações sobre o habitat preferencial da garça boieira com as áreas favoráveis a verde e as ameaças a vermelho representando os extremos da escala para ambos os cenários, atual e futuro.

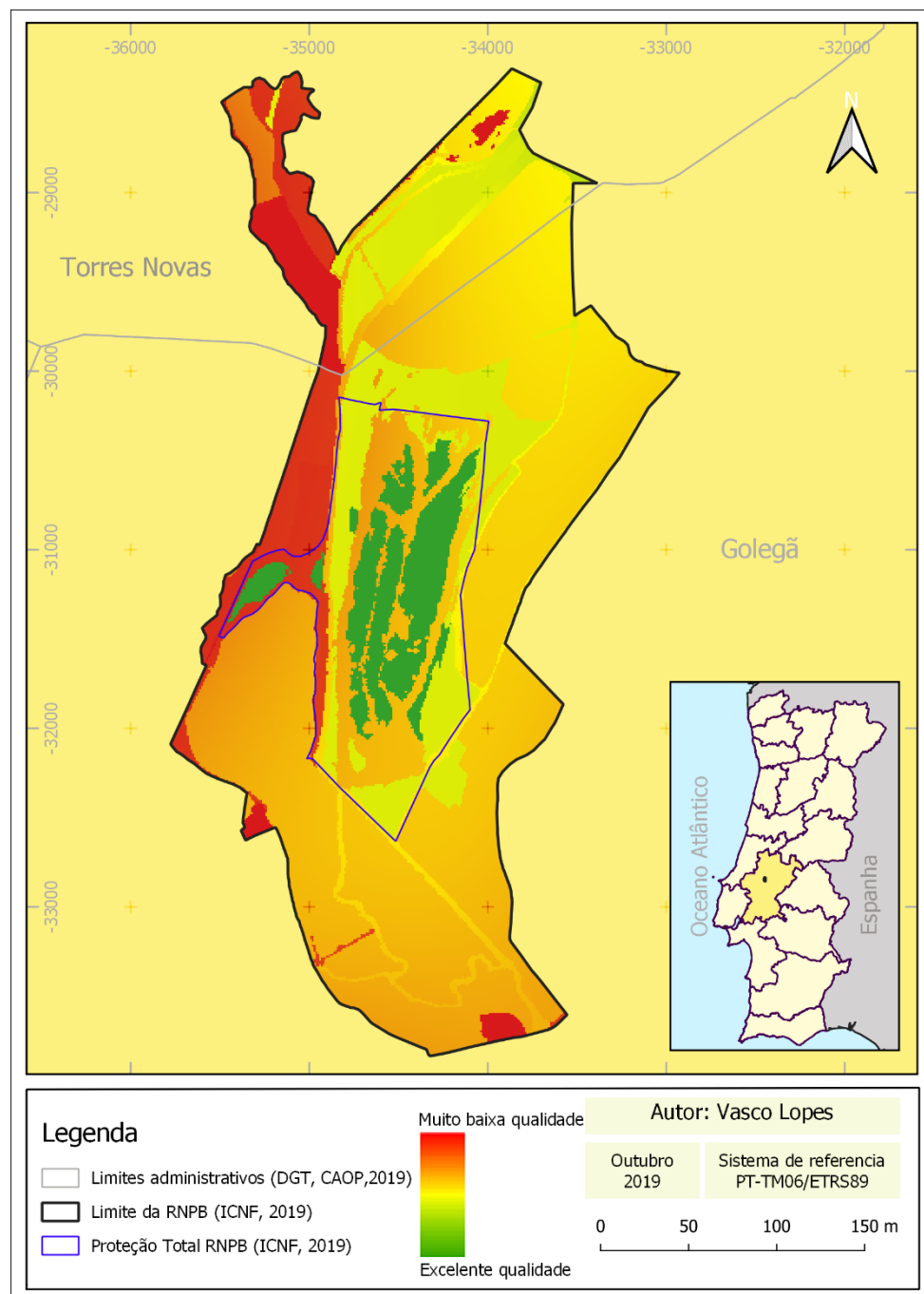


Figura 45 - Cenário atual para proteção das garças

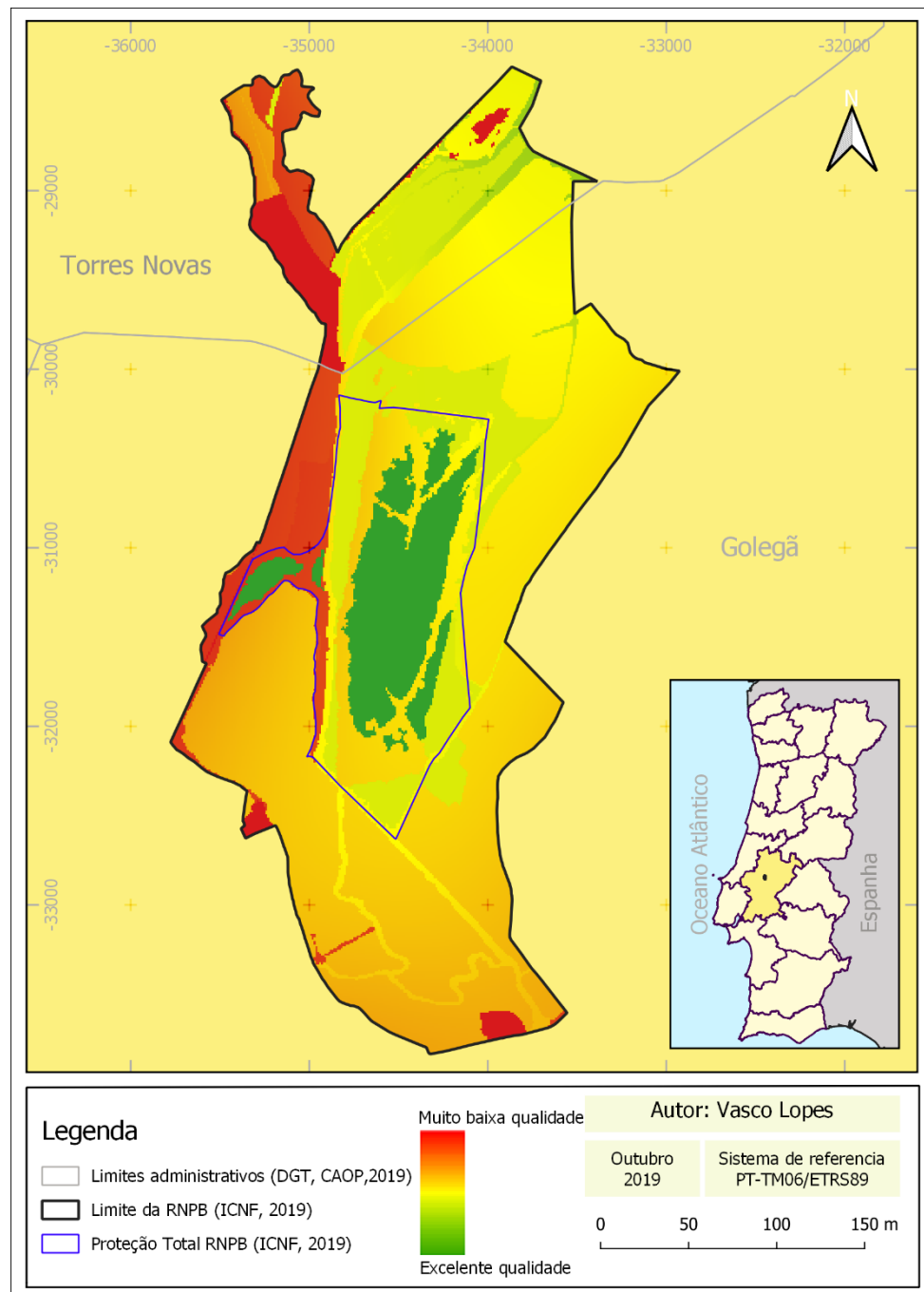


Figura 46 - Cenário futuro para proteção das garças

A análise dos resultados permite identificar a perda de habitat de salgueiros no interior da área inundada o que poderá significar a perda de zonas de nidificação da garça.

À semelhança das análises efetuadas em cenários anteriores, a cartografia foi reclassificada em 5 classes (figuras 47 e 48) no sentido de facilitar a interpretação e atribuição de características qualitativas aos valores quantitativos obtidos através do modelo.

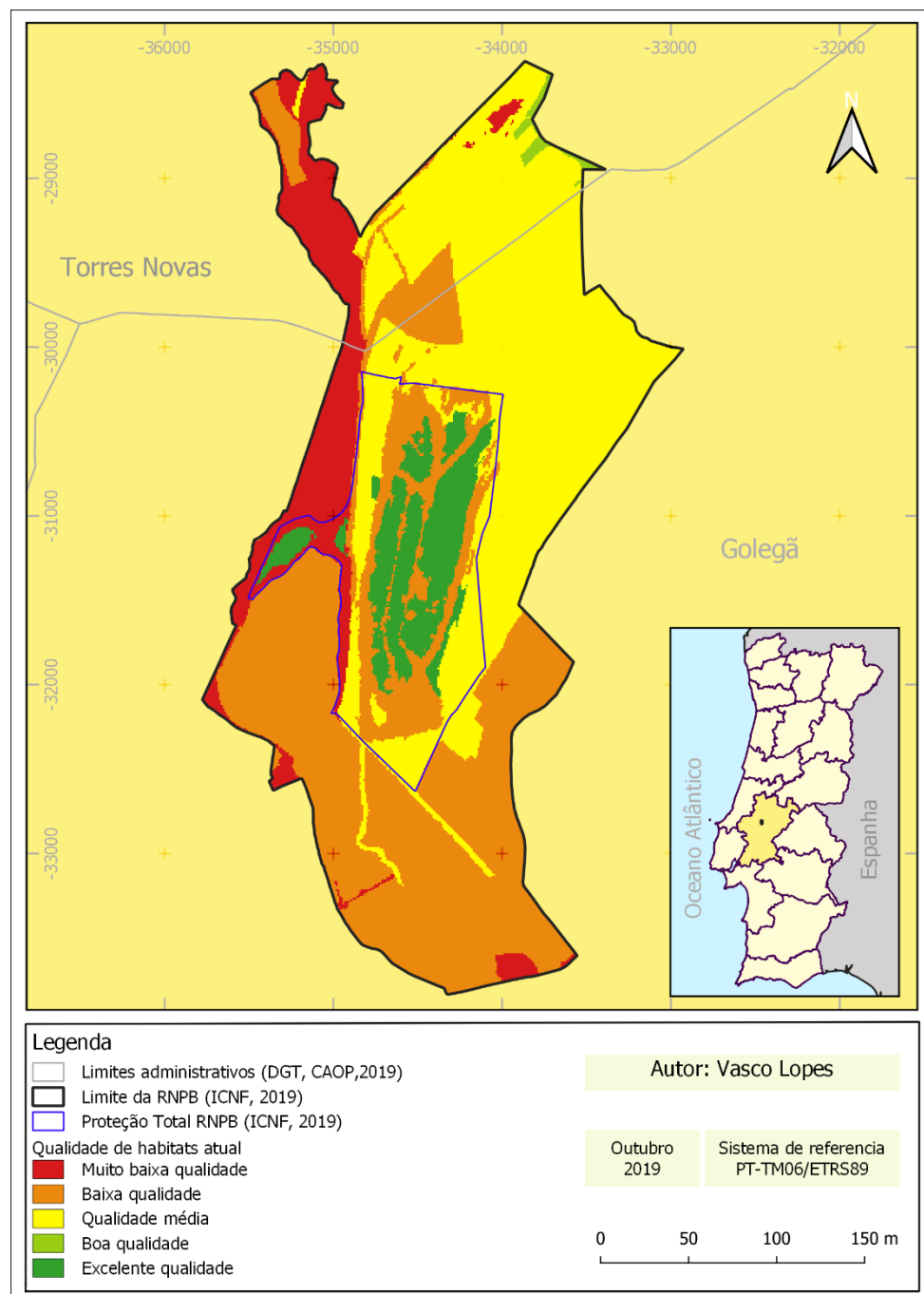


Figura 47 - Qualidade atual por classes para proteção das garças

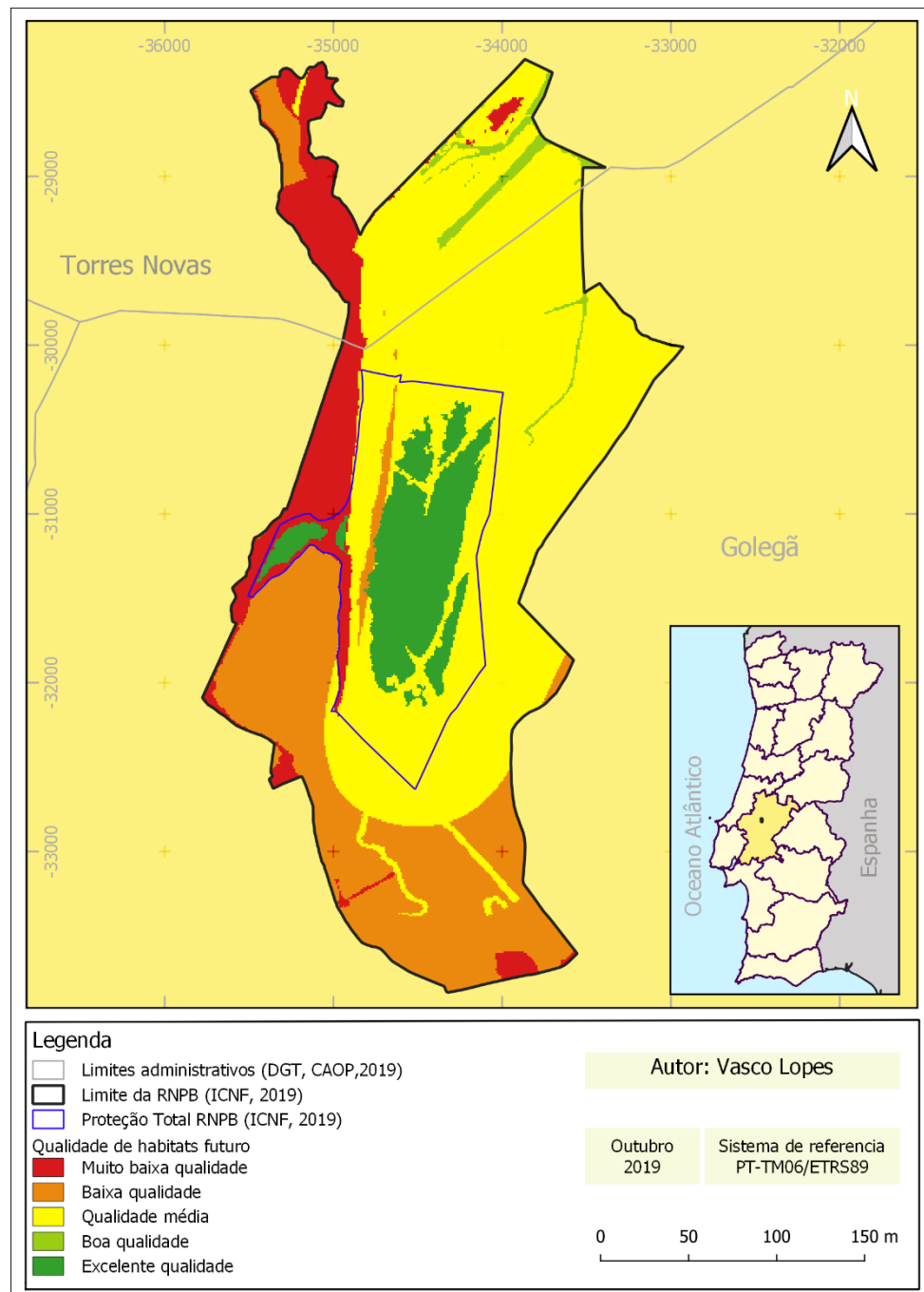


Figura 48 - Qualidade futura por classes para proteção das garças

Para a conservação da garça boieira (*Bubulcus ibis*) verifica-se que de acordo com as características biológicas e preferências ecológicas de habitats reclassificados de acordo com a tabela 6 os habitats que preferencialmente observarão melhoria, se aplicadas estas condições serão os de excelente e de boa qualidade (salgueiro, aquático e vegetação ripícola) que em conjunto melhoram 2 %; os habitats que sofrem maior melhoria serão os de baixa qualidade e média qualidade que melhorarão respetivamente 18% e 16% num total de 34%; Os habitats de muito baixa qualidade manter-se-ão com 11% não sofrendo alteração conforme gráfico da figura 49.

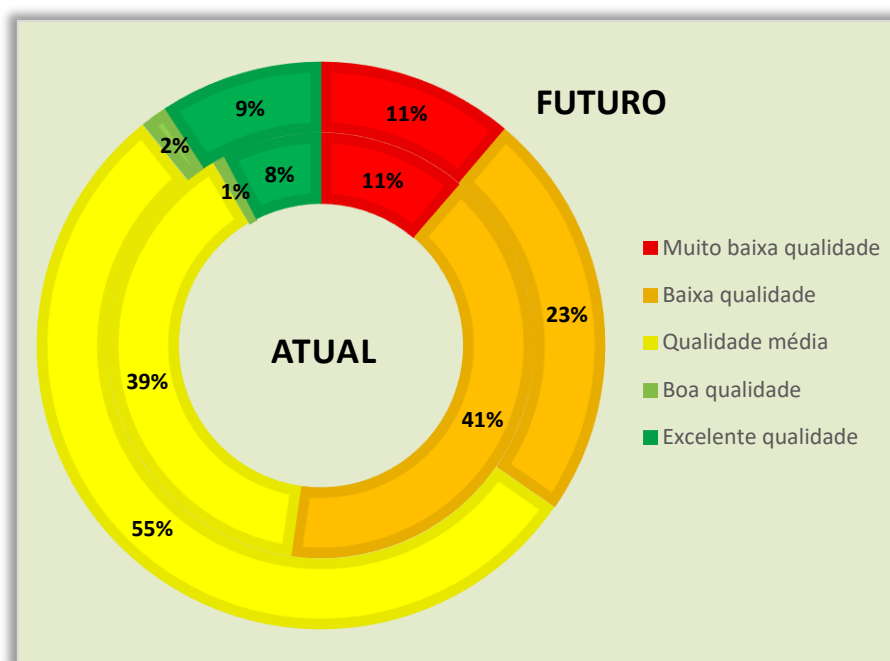


Figura 49 - Gráfico de comparação das áreas de cada classe atual e futuras para proteção da garça

Estes resultados são apenas indicadores, caso a aposta de gestão seja na conservação da garça, o que implica que as medidas a aplicar na conservação para atingir os objetivos mais próximos do ótimo ecológico para esta espécie devem centrar-se na aplicação de medidas de planeamento e gestão destas áreas. Por exemplo a diversificação da agricultura beneficiará a alimentação da garça onde por exemplo a implementação de um arrozal numa das áreas irá também beneficiar a extensão de zona inundada. Na qualidade máxima de habitats encontra-se o salgueiro que requer particular atenção devido à extensiva ocupação de ninhos neste núcleo, sendo esta pressão amenizada pela criação de mais área húmida com salgueiros que oferecem isolamento e segurança necessários para a fixação da colónia de garças nestes locais e tendencialmente considerados como de maior importância no cenário de conservação, os habitats de pastoreio, desde que mantida esta atividade moderada.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo permitiu no global, aplicar e testar várias metodologias de investigação em sistemas de informação geográfica no apoio à gestão e conservação dos habitats que compõem a Reserva Natural do Paul do Boquilobo.

Os resultados permitem concluir que a evolução natural derivada da gestão praticada no intervalo 2006 a 2016 na RNPB, de acordo com as ameaças identificadas, é de deterioração da maioria das categorias de habitat. No entanto é de evidenciar que este cenário futuro foi construído assumindo que o ano de 2012 é o presente e que os dados de 2016 são os futuros, o que nos permitiu aferir pequenas variações que são refletidas na forma de tendências.

Os cenários futuros construídos, consideraram cenários extremos de gestão e ordenamento da RNPB. Como expectável, conclui-se que o cenário “Económico” irá ter um impacto negativo considerável na qualidade, enquanto o cenário “Natural” será o que possibilita grande melhoria da qualidade dos habitats. Embora de utilidade demonstrativa, conclui-se que estes cenários são bastante úteis na discussão de estratégias de gestão pela indicação espacial de extensão de deterioração que as áreas de fronteira entre habitats fornecem.

A deteção remota, embora possa ser usada para a área da RNPB, carece de séries temporais de dados com a mesma qualidade, mais completas e gratuitas a fim de poderem ser utilizadas como base para modelos. No entanto, este trabalho criou uma base de trabalho com o índice NDVI, que poderá ser continuada com um enorme potencial para a monitorização da Reserva.

No cenário de alterações climáticas considerando o cenário RCP 8.5 para 2040, a zona húmida será reduzida e o núcleo de salgueiros tenderá a diminuir.

O modelo de qualidade dos habitats produzido pelo *software* InVEST, de acordo com as tendências reais simuladas, permite aplicações a diversas espécies e habitats específicos demonstrando-se a sua importância como ferramenta de apoio à tomada de decisão nas estratégias de gestão de áreas protegidas, como exemplificado para a garça boieira (*Bubulcus ibis*). No exemplo de conservação apresentado, e atendendo às ameaças identificadas pela revisão bibliográfica da ecologia da espécie, conclui-se que os habitats onde se verifica alguma intervenção humana, como o pastoreio e a agricultura beneficiam a conservação desta espécie, observável pela melhoria da qualidade de habitat no cenário futuro para as áreas a este e sul da reserva, o que corresponde aos habitats de média qualidade que aumentam em 16%.

Os resultados da qualidade dos habitats obtidos para os diferentes cenários concluem que a qualidade depende diretamente da ocupação geográfica de cada habitat, da evolução histórica dos mesmos e do peso relativo da importância de cada habitat para os objetivos de conservação, que por sua vez são combinados com o peso que as ameaças representam para cada um dos habitats. Este modelo apresenta algumas limitações na medida em que apenas considera geograficamente a ocupação e uso do solo, no entanto o que é uma limitação pode também ser encarado como fator abonatório, na medida em que a sua simplicidade permite uma fácil aplicação, desde que existam os dados geográficos adequados.

Considera-se que o desenvolvimento da tecnologia com o potencial que representa para a aquisição de dados, tais como imagens de satélite, possibilita a monitorização permanentemente da evolução da ocupação do solo, o que não seria possível há umas décadas. A sua contínua evolução e a já existente qualidade permitirão implementar modernas estratégias de conservação, apoiadas em dados cada vez mais precisos e modelos otimizados a cada caso em particular.

Os modelos específicos podem e devem ser otimizados de acordo com as alterações constantes de utilização do solo como estratégia de monitorização regular de áreas protegidas. Sugere-se a utilização do modelo de Risco de Habitats do InVEST, o qual carece dos resultados do modelo de qualidade para a sua execução e que conjuga estes valores com os resultados de monitorização de populações, já efetuados em qualquer reserva como estratégia de monitorização.

A título de conclusão, podemos afirmar que a utilização dos SIG e do modelo de qualidade de habitats InVEST se apresentam como soluções de apoio à tomada de decisão na gestão de áreas protegidas, em particular quando consideramos os cenários de alterações climáticas.

Como apreciação do trabalho desenvolvido no âmbito da temática do projeto, considero a experiência obtida no trabalho científico desenvolvido, o qual contou também com alguma produção científica e apresentação pública de resultados (Anexo III), como de grande importância no crescimento pessoal e profissional.

BIBLIOGRAFIA/ WEBGRAFIA

Álvaro, N. (2009), Situação de Referência e Proposta de Plano de Monitorização da Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies do Ilhéu de Vila Franca do Campo.: Universidade dos Açores, Departamento de biologia, Ponta Delgada;

Anastácio, R. (2016), Da Gestão do Território Cultural à Gestão do Território com recurso a Tecnologia de Informação Geográfica: Contributos Metodológicos. Caso de estudo: Região do Médio Tejo. Dissertação de Doutoramento Quaternário Materiais e Culturas: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real;

Anderson, K., Glenn, N., Spaete, L., Shinneman, D., Pilliod, D., Arkle, R., Mcilroy, S., Derryberry, D., (2018), Estimating vegetation biomass and cover across large plots in shrub and grass dominated drylands using terrestrial lidar and machine learning, *Ecological Indicators*, v. 84, p. 793–802;

Azevedo, J., Cabral, L., Galizes, P., Sampaio, R., Mesquita, T., (2013), Monitorização Ambiental da Reserva Natural do Paul do Boquilobo, Projeto de Licenciatura em Engenharia do Ambiente e Biológica, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar;

Ball, I. (2000), Marxan (v1.8.2) Marine Reserve Design using Spatially Explicit Annealing, Austrália;

Ball, I., Possingham, H., (2012), MARXAN Conservation Planning: Decision Support Software - Tutorial For GIS Experts;

Baptista, C., Santos, L., (2013), Relatório Técnico Reserva Natural do Paul do Boquilobo, Cartografia Ecológica e Análise Ambiental - Período Abril 2011-Abril 2012, IPT, Tomar, 48 pp;

Batista, C., Santos, L., (2015), Water quality monitoring in the Paul do Boquilobo Biosphere Reserve, *Physics and Chemistry of the Earth* xxx pag.1e8 <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2015.11.008>;

Bhagabati, K., Ricketts, T., Sulistyawan, S., Conte, M., Ennaanay, D., Hadian, O., Wolny, S., (2014), Ecosystem services reinforce Sumatran tiger conservation in land use plans, *Biological Conservation*, 169, 147-156.,2014,1.004;

Brotton, J., (2014); Uma história do mundo em doze mapas, Zamar;

Câmara, G., Casanova, M., Hemerly, A., Magalhães, G., Medeiros, C.; (1996); Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica, Rio de Janeiro;

Carvalho, R., (2015), Monitorização da edificação no Parque Natural da Arrábida com base em Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota. Lisboa: UNL, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Tese de mestrado;

CCRS (2015), (consultado: 08-05-2019) e disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/9309>;

CCRS (2019) “Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing”, (consultado: 08-05-2019) e disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309>;

CLUZ (2019) (consultado: 08-02-2019) e disponível em: <https://anotherbobsmith.wordpress.com/software/cluz/>;

Cordula, G., Jochen, L., (2012), Systematic site selection for offshore wind power with Marxan in the pilot area Pomeranian Bight, (consultado: 08-04-2019) e disponível em: http://www.baltseaplan.eu/index.php?cmd=download&subcmd=downloads/4_BaltSeaPlan_29_final.pdf;

Cosme, A., (2012), Projeto em Sistemas de Informação Geográfica, LIDEL - Edições Técnicas, Lisboa;

Costa, C., Aguiar, C., Capelo, J., Lousã, M., Neto, C., (1999), Biogeografia de Portugal Continental, Quercetea 0, Alva, Bragança;

CRISP (2019,) “Optical Remote Sensing”, (consultado: 08-05-2019) e disponível em: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~re-search/tutorial/optical.htm>;

DECRETO-LEI n.º 142/2008. D.R. I Série N.º 142 (24-07-2008) 4596- 4611;

DECRETO-LEI n.º 198/1980. D.R. I Série N.º 143 (24-06-1980) 1452- 1455;

DECRETO-LEI n.º 226/1997. D.R. I-A Série N.º 197 (27-08-1997) 4433 – 4457;

DECRETO-LEI n.º140/1999. D.R. I-A Série N.º 96 (24-04-1999) 2183 – 2212;

DECRETO-LEI n.º 19/93. D.R. I-A Série N.º 19 (23-01-1993) 271 – 277;

DECRETO-REGULAMENTAR n.º 2/2005. D.R. I-B Série N.º 58 (23-03-2005) 2570 – 2572;

DECRETO-REGULAMENTAR n.º 49/1997. D.R. I-B Série N.º 269 (20-11-1997) 6307 – 6311;

Demarchi, J., Piroli, E., Zimback, C., (2011), Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat, 5.Revista Raega, v.21, p.234-271, (consultado: 08-04-2019) e disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/download/17416/14028>;

DGT (2019), Breve descrição dos Satélites Sentinel, (consultado: 08-05-2019) e disponível em:

http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/detecao_remota/copernicus/componente_espaco/breve_descricao_dos_satelites_sentinel/;

Diretiva n.º 79/409/CEE, de 2 de Abril;

Diretiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio;

Elez, J., Cuezva, S., Fernandez-Cortez, A., Garcia-Anton, E., Benavente, D., Cañaveras, J. C., Sanchez-Moral, S., (2013), A GIS-based methodology to quantitatively define an Adjacent Protected Area in a shallow karst cavity: the case of Altamira cave, Journal of Environmental Management, 118: 122-134;

Environmental Systems Research Institute (ESRI), (1992), Understanding GIS: The Arc/Info Method, Lesson 1: Why GIS?, Rev. 6. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, (consultado: 26-07-2019) e disponível em: <http://www.ciesin.org/docs/005-331/005-331.html>;

ESA (2019a), Sentinel (consultado: 08-05-2019) e disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>;

ESA (2019b), MultiSpectral Instrument (MSI) Overview, (consultado: 08-05-2019) e disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>;

Fernandes, S., (2007), Sistemas de Informação Geográfica na Gestão de Campo de Golfe, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa;

Fistikoglu, O. Harmancioglu, B., (2002), Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion, Water Resources Management, 16 (6), 447–467;

Fonseca, A., Fernandes, J., (2004), Detecção Remota, Lidel, Lisboa, Portugal;

Forman, R., (1995), Land Mosaics: The Ecology of landscapes and regions, Cambridge Univ Press, New Yor;.

Gaglio, M., Aschonitisb V., Pierettia L., Santos, L., Gissi, E., Castaldelli, G., Fano, E., (2019), Modelling past, present and future Ecosystem Services supply in a protected floodplain under land use and climate change, Ecological Modelling 403 pag. 23–34 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.04.019>;

Geneletti, D., (2008), Incorporating biodiversity assets in spatial planning: Methodological proposal and development of a planning support system, Landscape and Urban Plannig, 84: 252-265;

Geneletti, D., Duren, I., (2008), Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation, Landscape and Urban Planning, 85: 97-110;

GMES (2019), Ministerial Council 2012 (consultado: 08-05-2019) e disponível em: https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2012/Global_Monitoring_for_Environment_and_Security_GMES;

Godinho, A., Fróis, A., Oliveira, A., Marôco, J., Lopes, V., (2012), Cartografia Ecológica e Monitorização Ambiental da Reserva Natural do Paul do Boquilobo, Projeto de Licenciatura em Engenharia do Ambiente e Biológica, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar

Godinho, A., Fróis, A., Oliveira, A., Marôco, J., Lopes, V., Batista, C., Santos, L., (2012a), Monitorização da qualidade de águas superficiais da Reserva Natural do Paul do Boquilobo, Conferencia Matchmaking Research, Instituto Politécnico da Guarda, Guarda;

Goodchild, M., (1992), Geographical information science, International Journal of Geographical Information Systems, 6(1). Pp.31-45;

Goodchild, M., Kemp, K., (1990), NCGIA Core Curriculum: Introduction to GIS, Vol. 6. N.º4. Pp. 309-320, (consultado: 08-05-2019) e disponível em: <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/178.pdf>;

Guimaraes, I., Canaparo, S., (2007), Identificação de áreas adequadas à implantação de infraestruturas arquitetónicas através do uso do sistema de informação geográfica (SIG): Estudo de caso- Parque nacional Saint-Hilaire/Lange – Paraná, Revista RA'E GA (Online) – O Espaço Geográfico em Análise, N.º. 14, 2007. Pág. 67-83. ISSN 2177-2738;

Hafner, H., (2000), Heron nest site conservation. In: Heron conservation (eds. A.J. Kushlan and H. Hafner), Academic Press, U.S.A., pp. 201-215;

Hall, L., Krausman, P., Morrison, M., (1997), O conceito de habitat e um apelo à terminologia padrão. Wildlife Society Bulletin 25 (1): 173-182 (consultado: 26-07-2019) e disponível em: https://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/guidance/index_en.htm;

Hea, J., Huang, J., Li, C., (2017), The evaluation for the impact of land use change on habitat quality: A joint contribution of cellular automata scenario simulation and habitat quality assessment model, Ecological Modelling 366 pag. 58–67;

Hengl, T., (2006), Finding the right pixel size, Computers & Geosciences, 32 (9) 1283-1298;

Herring, M., Robinson, W., Kerstin K.Zander, K., Garnett, S., (2019), Rice fields support the global stronghold for an endangered waterbird, Agriculture, Ecosystems & Environment, ISSN: 0167-8809, Vol: 284, Page: 106599;

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php;

Huete, A., (1988), A soil-adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, Elsevier Science Publishing Co., New York, USA. 25:295-309. (consultado: 08-04-2019) e disponível em: https://www.academia.edu/1484731/A_soil-adjusted_vegetation_index_SAVI_;

ICNF (2019a), Rede Nacional de Áreas Protegidas, (consultado: 04-05-2019) e disponível em: [;http://www2.icnf.pt/portal/ap/rnap](http://www2.icnf.pt/portal/ap/rnap);

ICNF (2019b), Biodiversidade, (consultado: 04-05-2019) e disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/rn2000/rn-pt/rn-contin/rn-cartografia>;

ICNF (2019c), Reserva Natural do Paul do Boquilobo, (consultado: 04-05-2019) e disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnpb>;

IUCN (2019), Protected Areas, (consultado: 04-05-2019) e disponível em: <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>;

Julião, R., (2001), Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional, Contributos Metodológicos para a Definição de Modelos de Apoio à Decisão em Desenvolvimento Regional, Dissertação de Doutoramento em Geografia e Planeamento Regional, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Documento policopiado, não publicado.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rube, F., (2006), World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorologische Zeitschrift, 15 (3): 259–263;

Kour, D., Sahi, D., (2013), Aspects of breeding biology of cattle egret, *bubulcus ibis coromandus* (boddaert) in Jammu, India, Int. J. environ. Sci., 3: 1547-1561;

Kushlan, J., Hafner, H., (2000), Heron conservation, Academic Press, London, UK;

LEI nº 9/70. D.R. I Série Nº 141 (19-06-1970) 801 – 803;

Lillesand, T., Kiefer, R., (1994), Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken;

Lindenmayer, D., Hobbs, R., Montague-Drake, R., Alexandra, J., Bennett, A., Burgman, M., Cae, P., Calhoun, A., Cramer, V., Cullen, P., (2008), A checklist for ecological management of landscapes for conservation, Ecology Letters 11:78-91;

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D., (2013), Sistemas e Ciência da Informação Geográfica, 3ªEdição, Bookman;

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D., (2015), *Geographic Information Systems and Science*, 4ª Edição, Wiley;

Lopes, V. (2013) *Caraterização do solos da Reserva Natural do Paul do Boquilobo*, Projeto de Licenciatura em Engenharia do Ambiente e Biológica, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar;

Lopes, V., Abreu, M., Gonçalves, L., (2018), *Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-2A como ferramenta de apoio à Guarda Nacional Republicana (GNR), para a determinação de áreas ardidas*, IX Conferencia Nacional de Cartografia e Geodesia, Ordem dos Engenheiros, Academia Militar, Amadora;

Lopes, V., Batista, C., Santos, L., Godinho, A., Fróis, A., Oliveira, A., Marôco, J., (2012a), *Análise da Ocupação do Solo na Reserva Natural do Paul do Boquilobo*, Conferencia Matchmaking Research, Instituto Politécnico da Guarda, Guarda;

Lopes, V., Batista, C., Santos, L., Godinho, A., Fróis, A., Oliveira, A., Marôco, J., (2012b), *Análise de solos na Reserva Natural do Paul do Boquilobo*, Conferencia Matchmaking Research, Instituto Politécnico da Guarda, Guarda;

Marchetti, M., (2017), *Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy*, *Journal of Environmental Management* 201 pag. 129e137 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.031>;

Margules, C., Pressey, R., (2000), *Systematic Conservation Planning*, *Nature*. 405: 243-253;

Matos, J. (2008), *Fundamentos de Informação Geográfica*, 6ª edição, Lidel-Edições Técnicas, Lda., Porto;

Melo, M. (2011), *O desenvolvimento industrial e o impacto no meio ambiente*, (consultado: 08-05-2019) e disponível em: http://www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=6837

Metzger, P., Martensen, C., Dixo, M., Bernacci, L., Ribeiro, M., Teixeira A., Pardini R., (2009), *Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic, Atlantic forest region*, *Biological Conservation*, 142:1166–1177, doi: 10.1016/j.biocon.2009.01.033;

Moreira, M., Fonseca, C., Vergílio, M., Calado, H., Gil, A., (2018), *Spatial assessment of habitat conservation status in a Macaronesian Island based on the InVEST model: a case study*

of Pico Island (Azores, Portugal), Land Use Policy 78 pag. 637–649
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.015>;

NASA (2019), Earth Observatory, (consultado: 08-03-2019) e disponível em:

Nature & Biodiversity (2019), (consultado: 08-06-2019) e disponível em:
https://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/guidance/index_en.htm;

NCP (2019a), InVEST, (consultado: 08-03-2019) e disponível em:
<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/invest/>;

NCP (2019b), Habitat Quality, (consultado: 08-03-2019) e disponível em:
http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/habitat_quality.html;

Nilson, L., Boer, N., (2015), Emília e visões de natureza: uma análise acerca da obra reformada da natureza, III Congresso Internacional de Educação Científica e Tecnológica (CIECITEC), Santo Ângelo, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões;

Noss, R., Connell, M., Murphy. D., (1997), The science of conservation planning: habitat conservation under the endangered species act, Island Press;

Olaya, V., (2011), Sistemas de Información Geográfica, CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN: 978-1530295944, (consultado: 20-05-2019) e disponível em:
<http://volaya.github.io/libro-sig/>;

ONU (2019), Centro Regional de Informação das Nações Unidas, (consultado: 04-05-2019) e disponível em: <https://www.unric.org>;

PC (2019), Portal do Clima, (consultado: 10-09-2019) e disponível em:
<http://portaldoclima.pt/pt/>;

Portilho, F., (2005), Consumo verde, democracia ecológica e cidadania, (consultado: 04-05-2019) e disponível em:
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/613755/mod_resource/content/1/PORTILHO_2005_Sustentabilidade_cidadania_e_consumo.pdf;

Prugh L., Hodges K., Sinclair A., Brashares J., (2008), Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105:20770–20775, <https://doi.org/10.1073/pnas.0806080105>;

Prugh, L., Hodges, K., Sinclair, A., Brashares, J., 2008, Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations, *Proceedings of the National Academy of Sciences*;

Rabaça, T., (2001), Caracterização Geoambiental da Região de Penamacor-Idanha por Aplicação de Técnicas de Detecção Remota, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra;

RBPB (2019), Reserva Natural do Paul do Boquilobo, (consultado: 04-04-2019) e disponível em: <https://www.pauldoboquilobo.pt/> ;

RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 46/2001. D.R. I-B Série N.º 108 (10-05-2001);

RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 50/2008. D.R. I Série N.º 56 (19-03-2008);

Rodrigues, A., Andelman, S., Bakarr, M., Boitani, L., Brooks, T., Cowling, R., Fishpool, L., Fonseca, G., Gaston, K., Hoffmann, M., Long, J., Marquet, P., Pilgrim, J., Pressey, R., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S., Underhill, L., Waller, R., Watts, M., Yan, X., (2004), Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity, *Nature* 428:640–643, doi: 10.1038/nature02422;

Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D., (1974), Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium, Volume I: Technical Presentations*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317;

Sallustio, L., Toni, A., Strollo, A., Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafo, M., Vizzarri, M., Sun, X., Jiang, Z., Liu, F., Zhang, D., (2019), Monitoring spatio-temporal dynamics of habitat quality in Nansihu Lake basin, eastern China, from 1980 to 2015, *Ecological Indicators* 102, 716–723, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.041>;

Synge, H., (2000), Protected Areas – Benefits beyond Boundaries: WCPA in Action, IUCN, Switzerland;

Telles, G., (1996), Portugal – Paisagens e Espaços Naturais, Clube Internacional do Livro, Alfragide;

Terrado, M., Sabater, S., Chaplin-Kramer, B., Mandle, L., Ziv, G., Acuña, V., (2016), Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning, Science of the Total Environment 540 pag.63–70
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.064>;

UNESCO, (2019), MAB, (consultado: 08-09-2019) e disponível em:
<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/>;

Anexo I - REDE NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS

Identificação, designação, área (ha) e classificação, das Áreas Protegidas do território nacional em 2019. Fonte: (ICNF, 2019a)

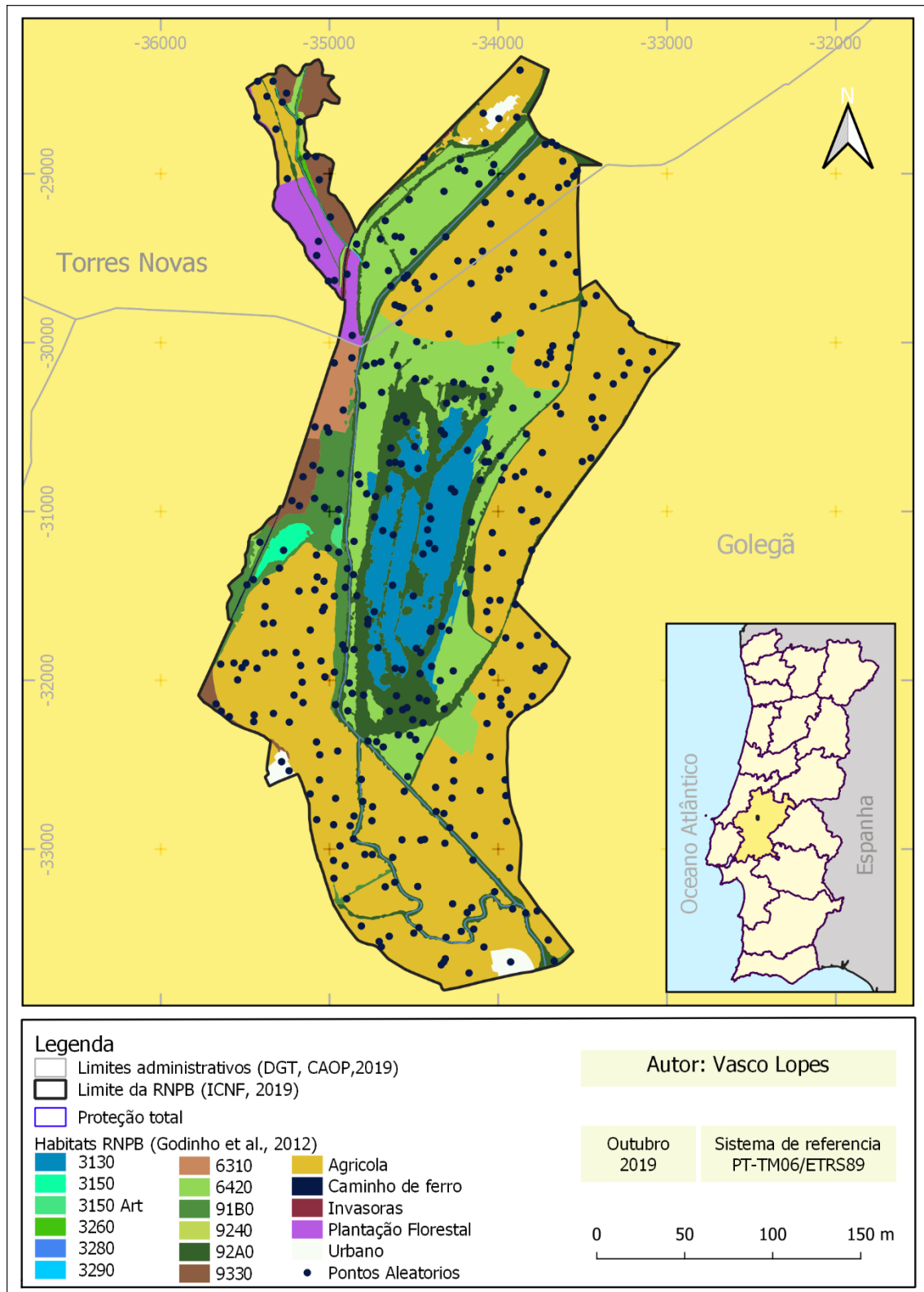
ID	Nome	Área (ha)	Classificação
0	Serras do Socorro e Archeira	1191	Paisagem Protegida
1	Açude da Agolada	266	Paisagem Protegida
2	Açude do Monte da Barca	868	Paisagem Protegida
3	Albufeira do Azibo	3277	Paisagem Protegida
4	Alvão	7238	Parque Natural
5	Arrábida	17641	Parque Natural
6	Arriba Fossil da Costa da Caparica	1552	Paisagem Protegida
7	Berlengas	9541	Reserva Natural
8	Cabo Mondego	118	Monumento Natural
9	Carenque	6	Monumento Natural
10	Corno do Bico	2071	Paisagem Protegida
11	Douro Internacional	86835	Parque Natural
12	Dunas de São Jacinto	996	Reserva Natural
13	Estuário do Douro	66	Reserva Natural
14	Estuário do Sado	23972	Reserva Natural
15	Fonte Benemola	406	Paisagem Protegida
16	Estuário do Tejo	14416	Reserva Natural
17	Lagosteiros	5	Monumento Natural
18	Litoral Norte	8762	Parque Natural
19	Montesinho	74225	Parque Natural

ID	Nome	Área (ha)	Classificação
20	Faia Brava	215	Área Protegida Privada
21	Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos	346	Paisagem Protegida
22	Paul da Tornada	54	Reserva Natural
23	Paul de Arzila	587	Reserva Natural
24	Lagoas de Santo André e Sancha	5266	Reserva Natural
25	Paul do Boquilobo	818	Reserva Natural
26	Pedra da Mua	7	Monumento Natural
27	Pedreira do Avelino	2	Monumento Natural
28	Pegadas de Dinossaurios de Ourem/Torres Novas	54	Monumento Natural
29	Peneda-Geres	69594	Parque Nacional
30	Rocha da Pena	672	Paisagem Protegida
31	Portas de Rodão	965	Monumento Natural
32	Ria Formosa	17901	Parque Natural
33	Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António	2308	Reserva Natural
34	Serra Malcata	16158	Reserva Natural
35	Serras de Aire e Candeeiros	38393	Parque Natural
36	Sintra-Cascais	14451	Parque Natural
37	Tejo Internacional	26490	Parque Natural
38	Vale do Guadiana	69666	Parque Natural
39	Vale do Tua	24769	Parque Natural
40	Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina	89569	Parque Natural
41	Litoral de Vila do Conde e Reserva Ornitologica do Mindelo	380	Paisagem Protegida
42	Serra da Gardunha	10507	Paisagem Protegida
43	Serra de Montejunto	4897	Paisagem Protegida

ID	Nome	Área (ha)	Classificação
44	Serra de Sao Mamede	56061	Parque Natural
45	Serra da Estrela	89132	Parque Natural
46	Serra do Acor	373	Paisagem Protegida

Anexo II - TRABALHO DE CAMPO REALIZADO

Mapa com os pontos aleatórios estratificados de identificação da vegetação *In Loco* no ano de 2019.



Mapa de trabalho de campo

Tabela de quantificação de pontos por habitat

<i>Habitats</i>	Área ha	Nº Quadrículas Total	Nº quadriculas a analisar
<i>3130</i>	55,8	5578	26
<i>3150</i>	3,9	393	2
<i>3150 Art</i>	0,9	93	1
<i>3260</i>	0,7	71	1
<i>3280</i>	4,9	493	2
<i>3290</i>	0,6	56	1
<i>6310</i>	9,7	972	5
<i>6420</i>	121,0	12098	57
<i>91B0</i>	28,8	2879	14
<i>9240</i>	0,9	88	1
<i>92A0</i>	110,6	11058	52
<i>9330</i>	21,0	2098	10
<i>Agrícola</i>	429,0	42904	202
<i>Caminho de ferro</i>	1,0	101	1
<i>Invasoras</i>	1,5	153	1
<i>Plantação Florestal</i>	17,3	1730	8
<i>Urbano</i>	7,5	745	4

Tabela com alguns dados recolhidos nas saídas de campo

<i>Title</i>	<i>Date Created</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Northin g</i>	<i>Easting</i>	<i>1_Estratos</i>	<i>2_Arbóreo principal</i>	<i>3_Arbustivo</i>	<i>4_Herbáceas</i>	<i>desc</i>
<i>Placemark 6</i>	Wed Jun 12 11:47:16 GMT+00:00 2019	39,36511386	-8,5356677	-33579	-34692					
<i>Placemark 7</i>	Wed May 22 12:38:48 GMT+00:00 2019	39,40624294	-8,526266685	-29017	-33862	Herbáceas				agricultura pousio
<i>Placemark 3</i>	Wed Jun 12 12:00:17 GMT+00:00 2019	39,37144656	-8,530972306	-32878	-34285	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco freixo salgueiro			
<i>Placemark 44</i>	Wed Jun 12 11:19:42 GMT+00:00 2019	39,38418473	-8,538082354	-31461	-34891	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco	freixo 80% rosa canina	a. secar	
<i>Placemark 5</i>	Wed Jun 12 12:22:04 GMT+00:00 2019	39,36514184	-8,528605169	-33579	-34084	Herbáceas				pastagens
<i>Placemark 28</i>	Wed May 22 12:33:33 GMT+00:00 2019	39,39621683	-8,536277263	-30126	-34730	Herbáceas			herbacea de charneca	
<i>Placemark 8</i>	Wed Jun 12 12:27:43 GMT+00:00 2019	39,36552281	-8,524159226	-33538	-33700					milho
<i>Placemark 2</i>	Wed May 22 11:24:31 GMT+00:00 2019	39,39454	-8,52613	-30316	-33856					Teste de local
<i>Placemark 21</i>	Wed May 22 12:15:43 GMT+00:00 2019	39,39312447	-8,534133677	-30470	-34546	Arbóreo	Salgueiro			
<i>Placemark 2</i>	Wed Jun 12 11:55:31 GMT+00:00 2019	39,37062628	-8,531325348	-32969	-34315	Herbáceas			herbacea de charneca	
<i>Placemark 7</i>	Wed May 22 12:35:37 GMT+00:00 2019	39,39927832	-8,534668138	-29787	-34589	Herbáceas				agricultura pousio

Placemark 8	Wed May 08 11:14:15 GMT+00:00 2019	39,38863596	-8,541392602	-30966	-35174	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Sobreiro 70%	crataegus monogyna 70% silvas30%	herbacea de charneca 2%	
Placemark 21	Wed Jun 12 14:36:40 GMT+00:00 2019	39,40299017	-8,534559356	-29375	-34578	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 43	Wed Jun 12 11:16:14 GMT+00:00 2019	39,38429352	-8,538336299	-31449	-34913	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo + choupo			
Placemark 34	Wed Jun 12 10:51:39 GMT+00:00 2019	39,3861608	-8,538675151	-31242	-34941	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo salgueiro	silvas		
Placemark 10	Wed May 08 11:26:14 GMT+00:00 2019	39,38898645	-8,540465181	-30927	-35094	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo sobreiro	silvas	herbacea de charneca	
Placemark 47	Wed Jun 12 11:30:57 GMT+00:00 2019	39,38069051	-8,538311864	-31849	-34913	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo choupo	silvas		
Placemark 15	Wed Jun 12 15:15:43 GMT+00:00 2019	39,40645157	-8,528340584	-28993	-34041	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 18	Wed May 22 12:10:01 GMT+00:00 2019	39,39391821	-8,536508485	-30381	-34751	Arbóreo	Salgueiro			
Placemark 15	Wed May 22 15:52:50 GMT+00:00 2019	39,41126791	-8,543392614	-28452	-35335	Arbustivo, Herbáceo	Salgueiro	matos ulex sistos rosmaninhos		
Placemark 25	Wed Jun 12 14:45:35 GMT+00:00 2019	39,40148496	-8,53692192	-29541	-34782	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 40	Wed Jun 12 11:08:35 GMT+00:00 2019	39,38230849	-8,543825205	-31667	-35387					milho
Placemark 2	Wed May 08 10:42:30 GMT+00:00 2019	39,39283523	-8,540351513	-30500	-35082	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Sobreiro	silvas	herbacea de charneca	sobreiro 70 silvas
Placemark 19	Wed Jun 12 14:35:10 GMT+00:00 2019	39,40382696	-8,535603878	-29281	-34668	Herbáceas			herbacea de charneca	

									junca bunho paspalmo	
Placemark 24	Wed Jun 12 14:42:50 GMT+00:00 2019	39,40122037	-8,535380671	-29571	-34650	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 17	Wed May 22 15:57:21 GMT+00:00 2019	39,40933634	-8,544481354	-28666	-35430	Arbóreo	Eucalipto			
Placemark 5	Wed May 22 12:16:44 GMT+00:00 2019	39,39268082	-8,531729034	-30520	-34339	Arbóreo	Salgueiro			
Placemark 11	Wed Jun 12 14:27:16 GMT+00:00 2019	39,40543923	-8,531644936	-29104	-34326	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 17	Wed May 22 12:08:42 GMT+00:00 2019	39,39400498	-8,537106193	-30371	-34802				herbacea de charneca	
Placemark 20	Wed May 22 12:15:17 GMT+00:00 2019	39,39329514	-8,534772082	-30451	-34601	Arbóreo	Salgueiro			
Placemark 10	Wed Jun 12 14:23:26 GMT+00:00 2019	39,40653135	-8,530138613	-28983	-34196	Herbáceas	Choupo branco industrial	herbacea de charneca		
Placemark 45	Wed Jun 12 11:25:56 GMT+00:00 2019	39,38116985	-8,538897302	-31796	-34963	Arbustivo, Herbáceo	oliveira			
Placemark 16	Wed May 22 15:54:32 GMT+00:00 2019	39,41128984	-8,544437842	-28449	-35425	Arbustivo	Freixo			agriculturam i
Placemark 6	Wed Jun 12 12:22:57 GMT+00:00 2019	39,36415971	-8,524620389	-33690	-33741	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo negro branco salgueiro	silvas		
Placemark 6	Wed May 08 10:59:59 GMT+00:00 2019	39,39050237	-8,540007544	-30759	-35054	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Sobreiro freixo		herbacea de charneca	cistus salviflos 10% ciganas 30%

Placemark 27	Wed May 22 12:31:21 GMT+00:00 2019	39,3961307	-8,536880182	-30135	-34781	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 19	Wed May 22 12:11:31 GMT+00:00 2019	39,39364926	-8,536519314	-30411	-34752	Arbóreo	Salgueiro negral		herbacea de charneca	
Placemark 46	Wed Jun 12 11:28:21 GMT+00:00 2019	39,38123307	-8,538429863	-31789	-34922	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo	silvas	herbacea de charneca	
Placemark 1	Wed May 08 10:25:09 GMT+00:00 2019	39,39621229	-8,539110578	-30125	-34974	Herbáceas	Sobreiro sambujeiro	crataegus monogyna	cistus salviflos 30% silvas tojo	
Placemark 10	Wed May 22 15:28:08 GMT+00:00 2019	39,40403986	-8,539377095	-29256	-34993	Arbustivo, Herbáceo	Freixo quercos faxinia	matos		
Placemark 37	Wed Jun 12 11:04:42 GMT+00:00 2019	39,38622638	-8,542544369	-31233	-35274	Herbáceas			herbacea de charneca	lago seco
Placemark 29	Wed Jun 12 14:55:20 GMT+00:00 2019	39,40062677	-8,539516484	-29635	-35006	Arbóreo	Eucalipto			
Placemark 33	Wed Jun 12 10:49:46 GMT+00:00 2019	39,38713278	-8,53916881	-31133	-34983					lago
Placemark 18	Wed Jun 12 14:32:47 GMT+00:00 2019	39,40498586	-8,533965928	-29153	-34526	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 29	Wed Jun 12 10:31:07 GMT+00:00 2019	39,38637189	-8,544773515	-31216	-35466	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo salgueiro sobreiro	silvas	herbacea de charneca	
Placemark 13	Wed May 08 11:45:58 GMT+00:00 2019	39,39032533	-8,538603218	-30779	-34933	Arbustivo, Herbáceo	freixo 10%	herbacea de charneca rosa canina 70%		
Placemark 3	Wed Jun 12 11:42:33 GMT+00:00 2019	39,37535203	-8,539936949	-32441	-35055	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 22	Wed May 22 12:16:06 GMT+00:00 2019	39,39348652	-8,534281182	-30430	-34559	Arbóreo	Salgueiro			

Placemark 12	Wed Jun 12 15:12:47 GMT+00:00 2019	39,40580246	-8,529148775	-29065	-34111	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 9	Wed Jun 12 12:28:52 GMT+00:00 2019	39,36779	-8,52588	-33286	-33848					xirasol
Placemark 9	Wed May 22 12:36:48 GMT+00:00 2019	39,39919276	-8,534413893	-29796	-34568	Herbáceas				agricultura pousio
Placemark 32	Wed Jun 12 10:46:47 GMT+00:00 2019	39,38638586	-8,539407166	-31216	-35004	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo	silvas 80%	herbacea de charneca	
Placemark 25	Wed May 22 12:23:36 GMT+00:00 2019	39,39434945	-8,537349612	-30333	-34823	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Salgueiro	silvas		
Placemark 23	Wed Jun 12 14:41:47 GMT+00:00 2019	39,40285668	-8,535962862	-29389	-34699	Herbáceas	Freixo		herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 2	Wed Jun 12 11:41:12 GMT+00:00 2019	39,37553463	-8,538718331	-32421	-34950	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 4	Wed Jun 12 12:03:32 GMT+00:00 2019	39,36694418	-8,525742531	-33380	-33836	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco freixo salgueiro		rio	
Placemark 5	Wed Jun 12 11:45:51 GMT+00:00 2019	39,37055809	-8,538544694	-32974	-34938					milho
Placemark 16	Wed May 08 12:07:43 GMT+00:00 2019	39,39702857	-8,536872855	-30036	-34780	Arbustivo, Herbáceo	Amiero	silvas	herbacea de charneca	
Placemark 15	Wed May 08 11:58:50 GMT+00:00 2019	39,39656115	-8,537905615	-30087	-34870	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Sobreiro	freixo 10% rosa canina silvas murta	herbacea de charneca	
Placemark 5	Wed May 08 10:56:41 GMT+00:00 2019	39,39078484	-8,540461894	-30727	-35093	Arbustivo, Herbáceo	Sobreiro			
Placemark 2	Wed May 22 11:53:30 GMT+00:00 2019	39,39781694	-8,522464335	-29954	-33539	Arbóreo	Freixo			

<i>Placemark 35</i>	Wed Jun 12 10:58:45 GMT+00:00 2019	39,38598588	-8,540234354	-31260	-35076					milho
<i>Placemark 3</i>	Wed May 08 10:47:33 GMT+00:00 2019	39,39284255	-8,539565636	-30499	-35014	Herbáceas			herbacea de charneca	
<i>Placemark 13</i>	Wed Jun 12 15:13:45 GMT+00:00 2019	39,40729955	-8,531319873	-28897	-34297	Herbáceas			herbacea de charneca	
<i>Placemark 23</i>	Wed May 22 12:18:38 GMT+00:00 2019	39,39475129	-8,535841804	-30289	-34693	Herbáceas			bunho	
<i>Placemark 3</i>	Wed May 08 12:42:29 GMT+00:00 2019	39,40666257	-8,533405259	-28967	-34477	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Amiero	silvas		
<i>Placemark 1</i>	Wed Jun 12 11:39:53 GMT+00:00 2019	39,37784402	-8,539345054	-32165	-35003	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo			
<i>Placemark 4</i>	Wed May 22 11:55:19 GMT+00:00 2019	39,40207205	-8,523084666	-29481	-33590					agricultura pousio
<i>Placemark 4</i>	Wed May 08 10:50:55 GMT+00:00 2019	39,39256791	-8,539442572	-30530	-35004	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo figueira sobreiro	silvas	herbacea de charneca	
<i>Placemark 24</i>	Wed May 22 12:20:36 GMT+00:00 2019	39,39403491	-8,535743172	-30368	-34685	Herbáceas			bunho	
<i>Placemark 41</i>	Wed Jun 12 11:09:48 GMT+00:00 2019	39,38665428	-8,544088111	-31185	-35407	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo salgueiro			
<i>Placemark 17</i>	Wed Jun 12 15:20:35 GMT+00:00 2019	39,40934908	-8,527792571	-28671	-33992					urbano
<i>Placemark 4</i>	Wed May 22 11:37:42 GMT+00:00 2019	39,39136315	-8,52757902	-30668	-33983	Arbóreo	Salgueiro			
<i>Placemark 14</i>	Wed May 22 15:47:49 GMT+00:00 2019	39,40914454	-8,541550574	-28689	-35177	Herbáceas			herbacea de charneca	

Placemark 6	Wed May 22 12:37:49 GMT+00:00 2019	39,40486228	-8,528724152	-29169	-34075	Herbáceas				agricultura pousio
Placemark 16	Wed Jun 12 15:19:46 GMT+00:00 2019	39,40940286	-8,526599997	-28666	-33890	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Oliveira		herbacea de charneca	
Placemark 26	Wed May 22 12:25:22 GMT+00:00 2019	39,39453566	-8,537324304	-30312	-34821	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Salgueiro	silvas		
Placemark 30	Wed Jun 12 14:56:20 GMT+00:00 2019	39,40096694	-8,538301105	-29598	-34901	Arbustivo, Herbáceo	canas silvas	herbacea de charneca		
Placemark 42	Wed Jun 12 11:13:50 GMT+00:00 2019	39,38381125	-8,539005513	-31502	-34971					milho
Placemark 11	Wed May 22 15:31:39 GMT+00:00 2019	39,40200037	-8,54033487	-29482	-35076	Arbóreo	Choupo branco industrial			
Placemark 1	Wed May 22 11:20:55 GMT+00:00 2019	39,39384314	-8,526758956	-30393	-33911	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 4	Wed May 08 12:44:16 GMT+00:00 2019	39,40730145	-8,53295462	-28897	-34438	Arbóreo		canas		
Placemark 9	Wed Jun 12 14:22:26 GMT+00:00 2019	39,40668593	-8,530596525	-28966	-34235	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 7	Wed Jun 12 11:53:52 GMT+00:00 2019	39,36618203	-8,533139807	-33462	-34474	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Sobreiro		herbacea de charneca	
Placemark 28	Wed Jun 12 14:54:00 GMT+00:00 2019	39,40068804	-8,539101666	-29629	-34971	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco freixo	herbacea de charneca		
Placemark 5	Wed May 22 11:56:06 GMT+00:00 2019	39,40657233	-8,522389506	-28982	-33528	Arbóreo	Freixo salgueiro			
Placemark 13	Wed May 22 15:45:56 GMT+00:00 2019	39,41219477	-8,540479637	-28350	-35084	Arbustivo, Herbáceo	Sobreiro		herbacea de charneca	

Placemark 7	Wed Jun 12 12:24:52 GMT+00:00 2019	39,36439963	-8,523797436	-33663	-33670	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo salgueiro	silvas		
Placemark 1	Tue Apr 16 20:02:49 GMT+00:00 2019	39,40803672	-8,528735506	-28817	-34074		Oliveira			
Placemark 6	Wed May 22 12:35:12 GMT+00:00 2019	39,39844755	-8,534669563	-29879	-34590	Herbáceas				agricultura pousio
Placemark 49	Wed Jun 12 11:36:29 GMT+00:00 2019	39,38034857	-8,539926837	-31886	-35052					milho
Placemark 7	Wed May 08 11:07:03 GMT+00:00 2019	39,39015114	-8,541175231	-30798	-35154	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Sobreiro 70%	silvas 80%	herbacea de charneca	
Placemark 3	Wed May 22 11:54:08 GMT+00:00 2019	39,39950817	-8,521981216	-29766	-33496					agricultura pousio
Placemark 12	Wed May 22 15:33:49 GMT+00:00 2019	39,40430836	-8,538562204	-29227	-34922	Arbustivo, Herbáceo	matos ulex sistos rosmaninhos			
Placemark 8	Wed May 22 12:36:16 GMT+00:00 2019	39,39937357	-8,534897683	-29776	-34609	Herbáceas				agricultura pousio
Placemark 26	Wed Jun 12 14:47:02 GMT+00:00 2019	39,40201933	-8,537717068	-29481	-34851	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco	freixo rosa canina	herbacea de charneca	
Placemark 30	Wed Jun 12 10:35:43 GMT+00:00 2019	39,38550226	-8,545026737	-31312	-35489	Arbustivo, Herbáceo	freixo 10%	herbacea de charneca	rodeado por sobro	
Placemark 22	Wed Jun 12 14:37:26 GMT+00:00 2019	39,40221741	-8,533621963	-29461	-34498	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 12	Wed May 08 11:39:03 GMT+00:00 2019	39,38846155	-8,538691098	-30986	-34941	Arbóreo, Arbustivo	Freixo sobreiro	silvas		
Placemark 4	Wed Jun 12 11:44:11 GMT+00:00 2019	39,37336	-8,54057	-32662	-35111	Herbáceas			herbacea de charneca	

Placemark 11	Wed May 08 11:34:19 GMT+00:00 2019	39,38854048	-8,539755007	-30977	-35033	Arbustivo, Herbáceo	freixo 80% rosa canina	herbacea de charneca		
Placemark 27	Wed Jun 12 14:50:28 GMT+00:00 2019	39,40246741	-8,53869113	-29431	-34934	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco		herbacea de charneca	
Placemark 36	Wed Jun 12 11:01:55 GMT+00:00 2019	39,38532824	-8,542774875	-31332	-35295	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Freixo	freixo 10% rosa canina silvas murta		
Placemark 5	Wed May 22 12:01:01 GMT+00:00 2019	39,40081	-8,53431	-29617	-34558	Arbóreo	Freixo choupo			
Placemark 8	Wed Jun 12 14:21:22 GMT+00:00 2019	39,40712229	-8,530462729	-28917	-34223	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 48	Wed Jun 12 11:32:21 GMT+00:00 2019	39,38060543	-8,538541095	-31858	-34932	Arbustivo, Herbáceo	Salgueiro	silvas	herbacea de charneca	
Placemark 2	Wed May 08 12:36:48 GMT+00:00 2019	39,40264	-8,5376	-29412	-34840	Arbustivo, Herbáceo	freixo 10%	herbacea de charneca		
Placemark 9	Wed May 08 11:19:44 GMT+00:00 2019	39,38889847	-8,541960488	-30936	-35223	Arbóreo, Arbustivo	Sobreiro	crataegus monogyna 70% silvas30%		
Placemark 31	Wed Jun 12 14:57:50 GMT+00:00 2019	39,40610329	-8,542347944	-29026	-35247					milho
Placemark 14	Wed Jun 12 15:15:05 GMT+00:00 2019	39,40687297	-8,528169244	-28946	-34026	Herbáceas			herbacea de charneca	
Placemark 39	Wed Jun 12 11:07:47 GMT+00:00 2019	39,3823768	-8,543246181	-31660	-35337					milho
Placemark 8	Wed Jun 12 12:09:34 GMT+00:00 2019	39,37182955	-8,531441683	-32835	-34325	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco			
Placemark 38	Wed Jun 12 11:06:26 GMT+00:00 2019	39,38472752	-8,544503946	-31398	-35444	Herbáceas			herbacea de charneca	lago seco

Placemark 1	Wed Jun 12 11:52:35 GMT+00:00 2019	39,36975192	-8,529214108	-33067	-34134	Arbóreo, Arbustivo, Herbácea	Choupo branco	silvas		
Placemark 20	Wed Jun 12 14:36:10 GMT+00:00 2019	39,40300109	-8,534950793	-29373	-34612	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 1	Wed May 08 12:32:22 GMT+00:00 2019	39,39774443	-8,537827619	-29956	-34862	Arbustivo	Eucalipto			
Placemark 3	Wed May 22 11:34:26 GMT+00:00 2019	39,39251408	-8,525844088	-30541	-33833	Herbáceas			herbacea de charneca junca bunho paspalmo	
Placemark 14	Wed May 08 11:54:39 GMT+00:00 2019	39,3937409	-8,538478059	-30400	-34920	Arbustivo, Herbáceo	freixo 10% rosa canina silvas	herbacea de charneca rosa canina 70%		
Placemark 31	Wed Jun 12 10:38:27 GMT+00:00 2019	39,38443038	-8,54501617	-31431	-35488					linha do caminho de ferro

Anexo III - PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS E PARTICIPAÇÃO EM SEMINÁRIOS

SAMPLING SITE SELECTION AHP MODEL TOWARDS THE ECOLOGICAL ASSESSMENT OF EU STREAMS

Ecological assessment is nowadays recognised as fundamental to sustainable management of the world's freshwater resources. In Europe, where the European Union Water Framework Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy *Official Journal L 327, 22/12/2000 P. 0001 – 0073*, requires that water resources be subject to ecological assessment, to provide a basis for the management and restoration of catchments.

The assessment of the ecological status of streams is the main idealistic approach of the WFD, whereas in practical terms the implementation of the WFD is turning into a scientific problem. Much work was developed into the elaboration of such a strategy, with solid scientific information and outstanding experts, however Europe changed, and the geographical coverage enlarged, creating new challenges into the application and uniformity of the WFD. Previous works financed by the EU failed in changing the attitude and interpretation of the directive by each of the implementing institutions with exceptions made to the sampling methodology and data interpretation.

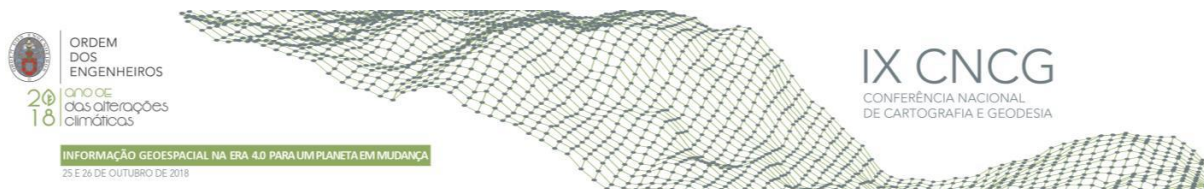
Despite most countries endeavours in delivering its main objectives of non-deterioration and the achievement of good status for all EU waters, implementation problems arise in the most various forms. One of the main issues is sampling site selection where a set of legislative criteria imposes that sampling sites must respect several geographical and natural parameters.

This paper proposes the use of QGIS software to model a multi-criteria decision-making, the Analytic Hierarchy Process (AHP), which ranks the alternatives or selects the optimal alternatives on basis of the hierarchical structure, criteria and sub criteria. Multi-criteria decision-making analyses can help users understand the results of GIS-based decision-making procedures, in this case, trade-offs among policy objectives and the use of results in a systematic and justifiable way to develop policy recommendations. GIS provides support to the decision-

making process by ensuring a flexible environment for the analysis of various alternatives based on their criteria.

Results present the application of the AHP methodology in a GIS environment for selecting the most appropriate set of sampling sites towards an appropriate implementation of the EU WFD. The model was tested for the Nabão River in Portugal confirming the adequacy of the model's stretch selection facilitating the methodological applicability of the WFD. Furthermore, such model may be one of the routes towards methodological uniformization of sampling site selection for EU streams Ecological Assessment.





Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-2A como ferramenta de apoio à Guarda Nacional Republicana (GNR), para a determinação de áreas ardidas

Vasco LOPES¹, Marina ABREU¹, e Luísa GONÇALVES^{1,2,3}

¹ Instituto Politécnico de Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar (Portugal)

² Câmara Municipal de Leiria, Leiria (Portugal)

³ INESC Coimbra (Portugal)

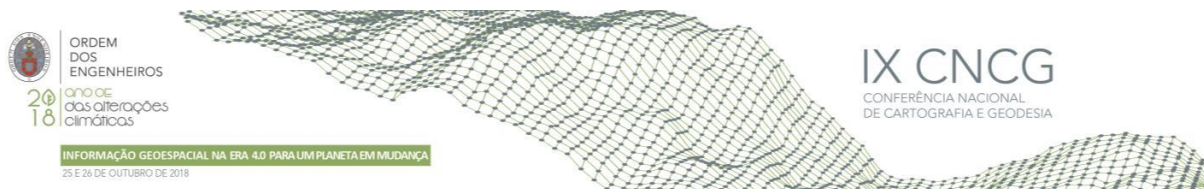
(vaalopes19@gmail.com; mcrabreu@gmail.com; lgoncalves@cm-leiria.pt)

Palavras-chave: Incêndios rurais, Sentinel-2A, NDVI, Detecção remota

Resumo: Os incêndios rurais são cada vez mais frequentes no nosso país, sendo as alterações climáticas um dos fatores que contribuem para uma maior ocorrência de grandes incêndios rurais. Como as áreas florestais percorridas por incêndios constituem uma das condicionantes dos Planos Diretores Municipais é necessário delimitar a área ardida com rigor. Acresce o facto de que terrenos percorridos por incêndios, ficam condicionados pelo prazo de 10 anos.

Neste artigo, é apresentado o estudo desenvolvido com recurso a técnicas de deteção remota e ferramentas de sistemas de informação geográfica, para determinar as áreas ardidas em 2017, tendo sido utilizadas imagens multiespectrais do Sentinel 2A com uma resolução de 10 metros. O período em estudo vai de junho a outubro de 2017 e a área de estudo localiza-se na região do Médio Tejo, zona onde ocorreram vários incêndios que consumiram elevadas áreas de floresta. Foram utilizadas imagens do Sentinel 2A adquiridos antes e depois dos incêndios de agosto de 2017 e foi utilizado o índice *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Os resultados do estudo permitem avaliar se as imagens e o modelo desenvolvido podem constituir uma ferramenta de apoio à Guarda Nacional Republicana, que detém a obrigação de validar as áreas ardidas, e, assim, contribuir como complemento à recolha de dados obtidos através de sistemas GNSS, para a delimitação das áreas ardidas.



1. Introdução

A dimensão da área afetada por incêndios em Portugal tem sido muito significativa nos últimos anos e agravou-se de forma extraordinária no ano 2017. A este facto, acresce o potencial destrutivo dos incêndios, o que tem levado a que estes acontecimentos tenham deixado de ser considerados um problema natural nos climas mediterrânicos e evoluíssem para um problema de ordem social, económico e político. Esta situação veio expor a fragilidade da política de gestão da floresta e planeamento do espaço rural que tem sido efetuada. Como resultado, o actual quadro de ordenamento do território nacional tem-se caracterizado por uma panóplia de Planos de diferentes níveis para o sector Florestal (e.g. Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI), Plano Regional de Ordenamento Florestal (PROF), Planos Distritais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PDDFCI), Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI)) e têm surgido diversas peças legislativas no sentido de uma mudança de abordagem e convergência de esforços de todas as partes direta ou indiretamente envolvidas.

O Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) sendo um dos pilares do Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios, tem a responsabilidade de manter atualizada a base de dados relativa a incêndios florestais, através do Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais (SGIF) e o registo cartográfico das áreas ardidas. Atualmente, compete à GNR o levantamento cartográfico das áreas ardidas por incêndios rurais em áreas iguais ou superiores a 1 ha (Lei n.º 76/2017) e a sua introdução no SGIF. Esta cartografia serve como base nas condicionantes à alteração do uso do solo. No caso de grandes áreas ardidas com muitos hectares o levantamento por métodos topográficos clássicos ou recorrendo ao sistema GNSS, é moroso. Por esta razão, pretendeu-se avaliar se é possível acelerar o processo, no caso de grandes incêndios, utilizando deteção remota com imagens de satélite.

Segundo Fonseca *et al* 2004, as características espectrais do coberto vegetal existente na superfície terrestre variam consideravelmente no tempo e no espaço e, embora cada espécie vegetal apresente características espectrais específicas, estas podem apresentar variações em função da zona geográfica em que a espécie se encontra e das estações do ano.

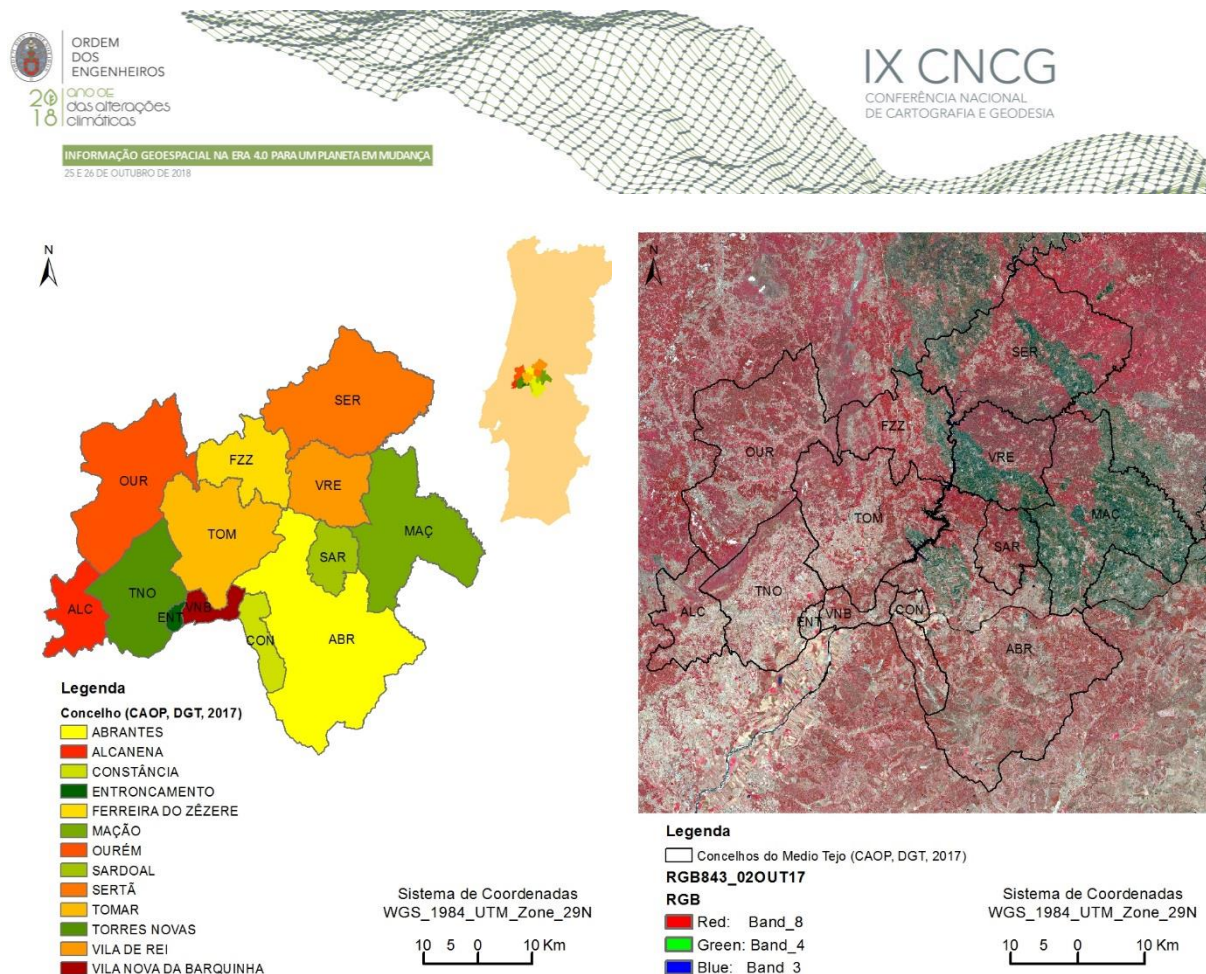
Estudos recentes têm evidenciado que a potencialidades das imagens Sentinel na identificação quer de culturas na zona agrícola (Saraiva e Navarro, 2015) quer na identificação de áreas ardidas (Rocha *et al*, 2013). Os resultados apresentados no estudo desenvolvido por Navarro *et al*. (2017), com recurso a imagens Sentinel-2 para avaliar os índices de gravidade do incêndio na Madeira durante agosto de 2016, evidenciaram que estas imagens constituem uma ferramenta importante para a monitorização pós-incêndio.

Neste estudo, o foco foi avaliar o potencial das imagens Sentinel-2A como ferramenta de apoio ao levantamento cartográfico das áreas ardidas. Para a classificação das imagens foram usados dois classificadores o classificador da máxima verosimilhança e a rede neuronal MLP - *multi-layer perceptron*.

2. Estudo de Caso

2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada foi o Médio Tejo (figura 1), que corresponde aos municípios de Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Sertã, Tomar, Torres Novas, Vila de Rei e Vila Nova da Barquinha. A análise de resultados de comparação das áreas ardidas, (figura 2) determinadas por deteção remota e as recolhidas com recurso a sistemas GNSS, só foi efetuada para os concelhos de Ferreira do Zêzere e Tomar em virtude de não se possuir dados fidedignos em sistema GNSS das grandes áreas ardidas nos outros concelhos. Estas áreas correspondem aos incêndios de 5 e 12 de agosto em Tomar e de 11 de agosto em Ferreira do Zêzere do ano de 2017.



2.2 Imagens de Detecção Remota

As imagens seleccionadas do Sentinel-2A MSI, foram escolhidas tendo em conta o período em estudo, pelo que se obteve as imagens pré incêndios de 04 de junho de 2017 e pós incêndio de 02 de outubro de 2017, tendo sido necessário duas coleções de imagens para cada dia em virtude da área de estudo se localizar na junção de duas imagens. As bandas escolhidas foram: 2 (azul), 3 (verde), 4 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo), estas foram obtidas gratuitamente no site da *European Space Agency* (ESA) associadas ao sistema de coordenadas (WGS_1984_UTM_Zone_29N). As bandas utilizadas apresentam uma resolução espacial de 10m (figura 3, quadro 1).

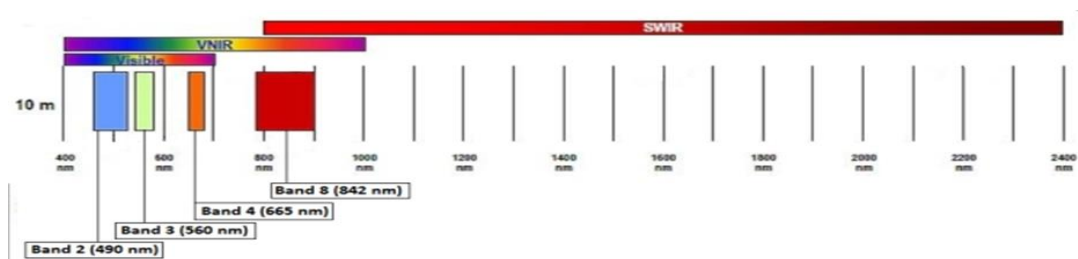


Figura 3 - SENTINEL-2 Bandas com resolução espacial 10 m: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) e B8 (842 nm)
(Fonte:ESA)

Quadro 1- Bandas utilizadas e suas características

Nº de banda	2	3	4	8
Comprimento de onda (nm)	496.6	560.0	665	842
Resolução espacial (m)	10	10	10	10

2.3 Metodologia

A metodologia aplicada dividiu-se nas seguintes etapas: processamento das imagens Sentinel-2A; definição das áreas de treino e teste para as imagens de junho e outubro de 2017; classificação das imagens utilizando os classificadores da máxima verosimilhança e rede neuronal *MLP*; análise e exactidão temática utilizado índices estatísticos; análise da detecção de alterações ocorridas entre junho e outubro efetuada com base nos mapas para os quais se obteve maior exactidão global; análise comparativa entre as manchas obtidas por detecção remota e por GNSS para os concelhos de Ferreira do Zêzere e Tomar.

Para definir as áreas de treino, foram escolhidas 50 amostras por classe dispersas por toda a imagem. Para classificar a imagem de outubro foram consideradas 4 classes: corpos de água, coberto vegetal, coberto não vegetal, áreas ardidas. Para a imagem de junho foram consideradas as três classes: corpos de água, coberto vegetal e coberto não vegetal. Não foi identificada a classe “área ardida” para a imagem de junho, porque nessa data áreas ardidas existentes não eram significativas, tinham uma dimensão muito reduzida e apresentavam uma assinatura espectral semelhante a outras ocupações do solo.

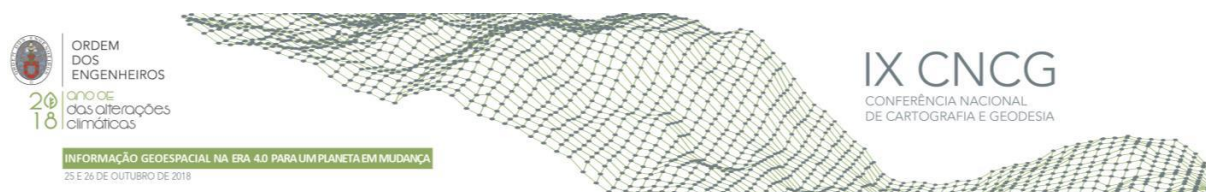
As áreas de teste foram definidas com recurso a uma amostra estratificada, tendo sido também escolhidas 50 amostras por classe e após a identificação do local, recorreu-se a orto fotos para identificar a classe correta.

Para avaliar a exactidão temática dos mapas produzidos com os algoritmos da máxima verosimilhança e rede neuronal *MLP*, com o objetivo de identificar o melhor classificador, foi construída uma matriz de confusão.

Após a classificação das imagens, aplicou-se uma função de generalização, que consiste numa operação de vizinhança em que o valor de cada célula de saída é obtido em função dos valores de todas as células de entrada que estão numa vizinhança especificada em torno dessa localização, o que permite corrigir as áreas classificadas para que não exista um pixel de uma classe isolado no meio de outra classe. Após este processo, o mapa de outubro de 2017 foi reclassificado em duas classes “área ardida” e “área não ardida”.

Os levantamentos das áreas ardidas efetuados pela GNR com recurso a GPS encontravam-se no sistema de coordenadas Lisboa_Hayford_Gauss_IGeoE, foram transformadas para o sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_29N, e convertidos para formato matricial com pixéis de 10m. De referir que embora o levantamento tenha sido efectuado com equipamentos que permitem alcançar uma precisão de 1m, a exactidão do sistema depende de vários fatores, dentre eles: configuração do sistema GPS no momento do posicionamento; frequência do sinal GPS utilizado para o posicionamento, configuração do receptor GPS, como taxa de aquisição, máscara de elevação; interferência do multicaminhamento no sinal GPS, e o método utilizado para a correção diferencial (satélite, rádio, pós-processado). Os levantamentos efectuados pela GNR, utilizados para comparação, não foi utilizada correção diferencial, desconhecendo-se os valores dos desvios obtidos e que podem ser de vários metros como demonstra o estudo efetuado por Stabile *et al* (2006).

Após a reclassificação do mapa temático obtido com as imagens de outubro, foi efetuada uma detecção das alterações de forma a identificar de forma automática o tipo de classe existente na imagem de junho que ardeu. Por último, foi efectuada uma análise comparativa entre a área ardida delimitação pelo levantamento recorrendo ao sistema GNSS, e a área ardida extraída por classificação automática da imagem sentinel.



3. Resultados

Para avaliar a exactidão temática dos resultados obtidos, construiu-se uma matriz de confusão. A exactidão global do mapa obtido em outubro de 2017 com o classificador Máxima Verosimilhança foi de 98,5% e com o classificador MPL foi de 98,9%. A exactidão global do mapa obtido em junho de 2017 com o classificador Máxima Verosimilhança foi de 98,3% e com o classificador MPL foi de 99,4%. Nas figuras 4 e 5 constam os gráficos comparativos com os valores da exatidão do produtor (EP), e a exatidão do utilizador (EU), obtidos com o classificador de máxima verosimilhança e classificador MLP em outubro.

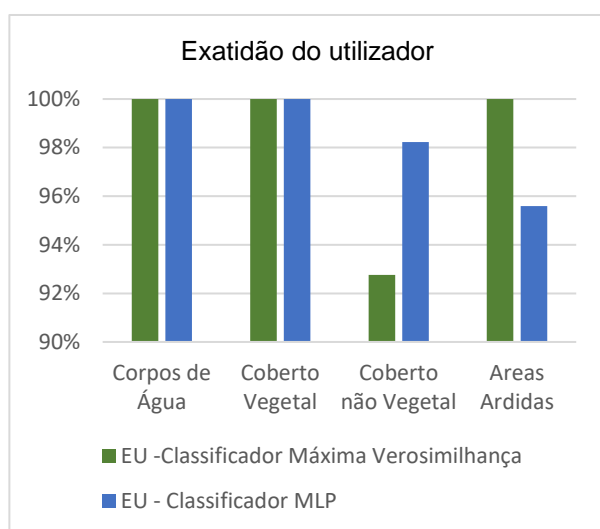


Figura 4 – Gráfico da exatidão do utilizador dos mapas produzidos com as imagens de outubro de 2017

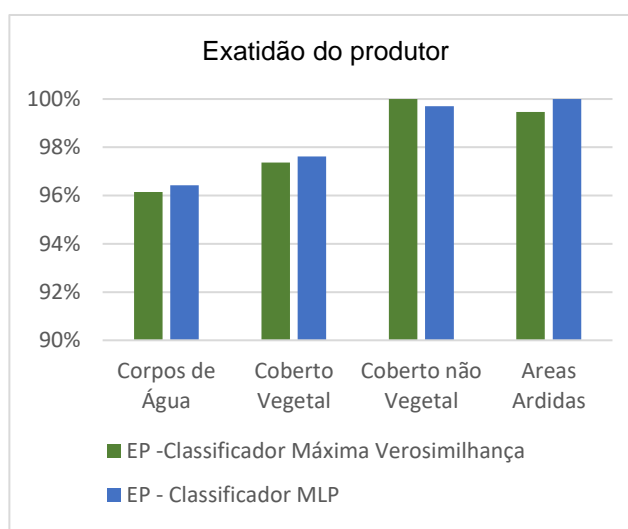


Figura 5 - Gráfico da exatidão do produtor dos mapas produzidos com as imagens de outubro de 2017

Para todas as classes do mapa obtido com o classificador MLP, à excepção do “coberto não vegetal”, o valor da exatidão do produtor apresenta melhores resultados relativamente ao classificador da Máxima Verosimilhança. Em termos da exatidão do utilizador o coberto não vegetal teve melhores resultados com o classificador da rede neuronal e as áreas ardidas obtiveram um melhor resultado com o classificador de máxima verosimilhança. As restantes classes apresentam valores semelhantes para ambos os classificadores. Embora o valor da exatidão global do mapa produzido com o classificador MLP (98,9%) seja ligeiramente superior, optou-se pelo mapa produzido com o classificador rígido da máxima verosimilhança (98,5%) em virtude de as áreas ardidas estarem mais bem classificadas, o que é comprovado não só pelos índices estatísticos, mas também através da análise visual efetuada.

Os mapas temáticos produzidos para outubro de 2017, com o classificador de máxima verosimilhança estão representados na figura 6 e com o classificador MLP na figura 7.

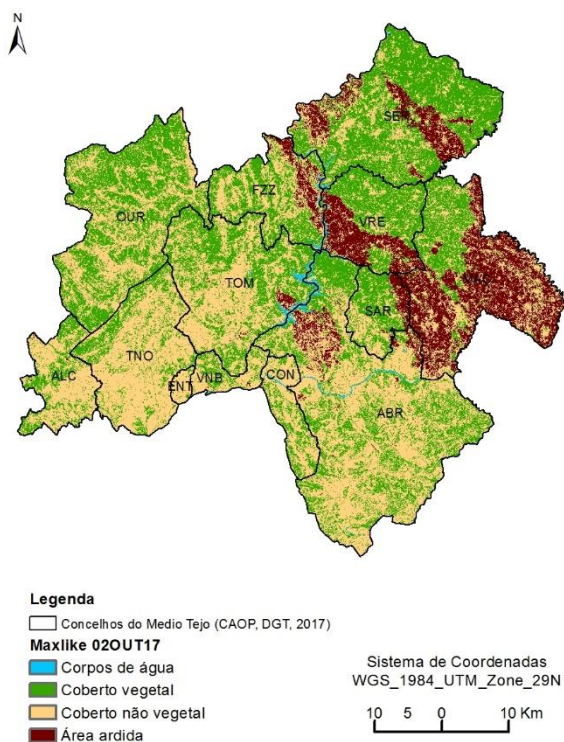
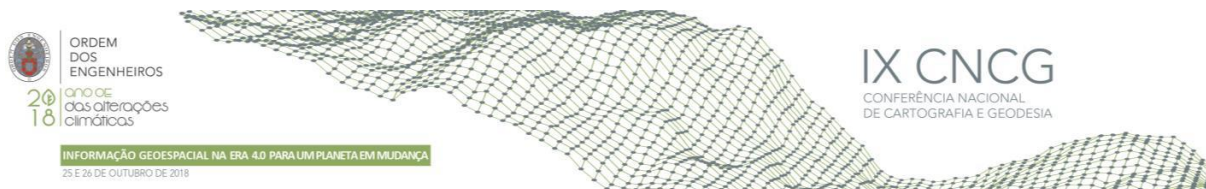


Figura 6 – Resultados Máxima Verosimilhança

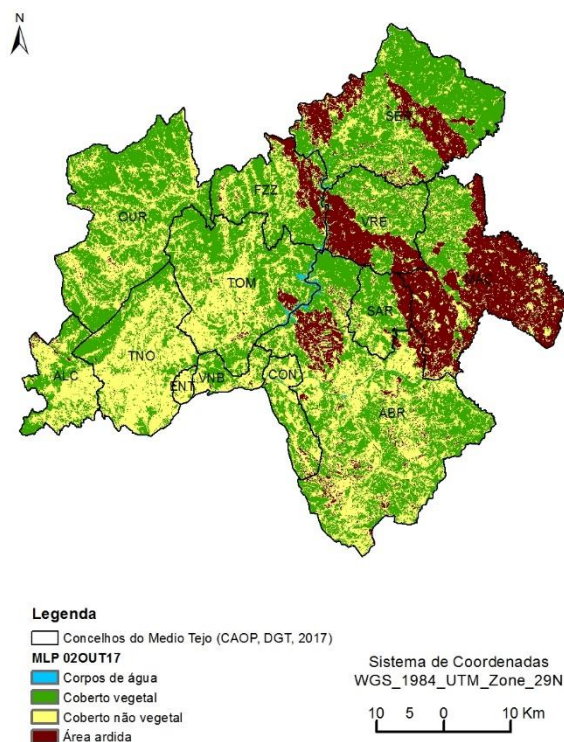


Figura 7 – Resultados MLP

Com o estudo efetuado foi possível verificar que só se obtém uma boa identificação das áreas ardidas quando a vegetação é totalmente carbonizada, sendo que em incêndios com diferentes intensidades, os resultados são mais díspares. Na figura 8 apresenta-se um mapa com as áreas ardidas determinadas por deteção remota e GPS.

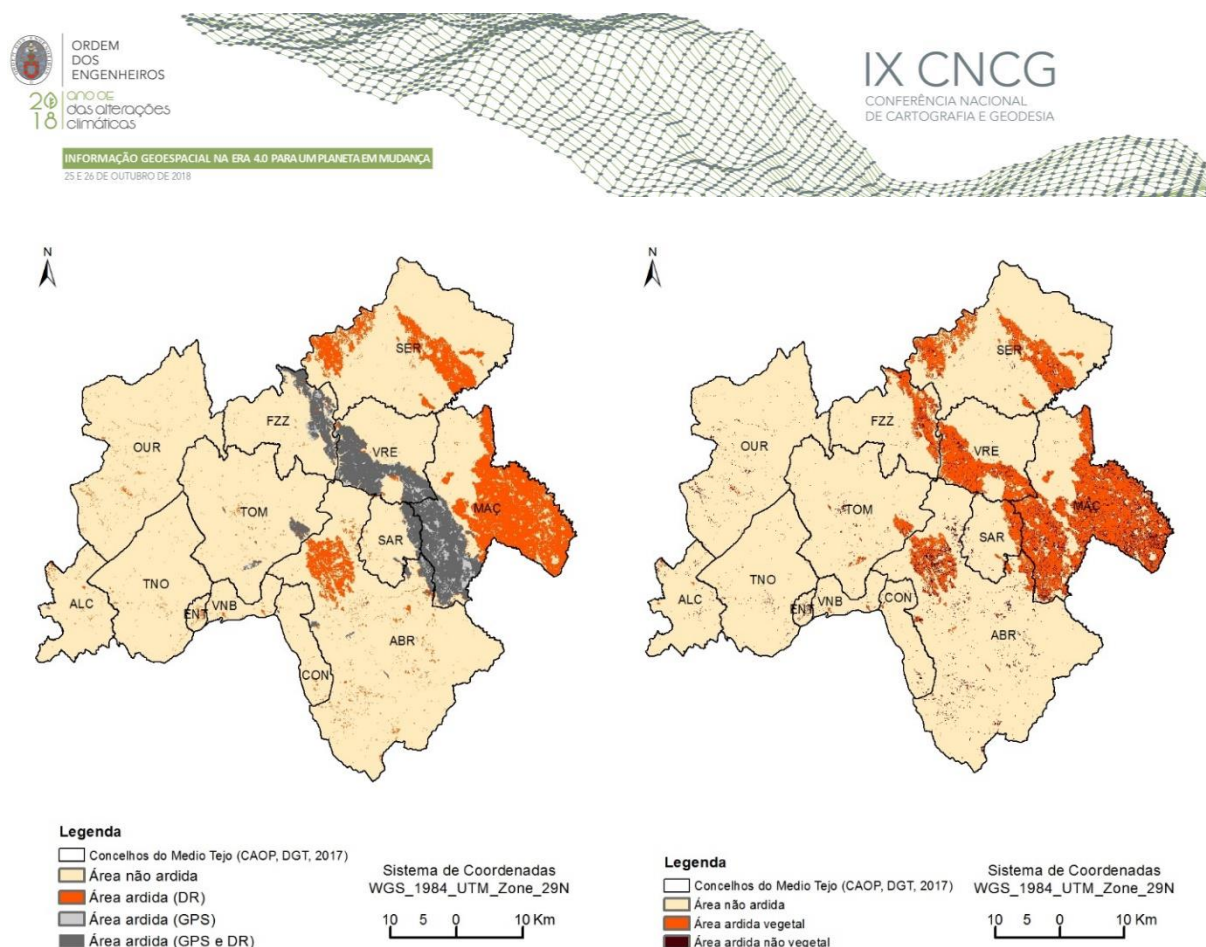


Figura 8 – Áreas ardidas determinadas por Detecção Remota (DR) e por GPS

Figura 9 – Tipo de ocupação ardida

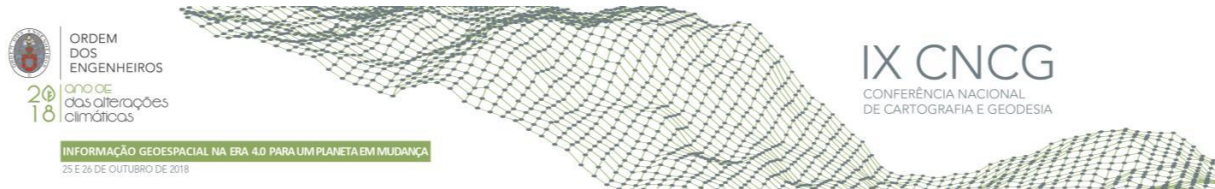
Com base no conhecimento no terreno das áreas percorridas pelos incêndios, e em virtude de se ter participado na realização dos levantamentos das áreas ardidas com recurso a sistemas GNSS, após os mesmos terem sido dados como extintos, podemos verificar que as maiores discrepâncias ocorrem nas fronteiras com as áreas urbanizadas, ou seja, junto dos aglomerados populacionais e nas zonas agrícolas que se encontram no limite da área ardida.

As áreas ardidas na interfase urbana e agrícola não foi bem delimitada, o que se pode dever ao facto dos incêndios em áreas com muita quantidade de combustíveis finos e mortos não exercer uma elevada desidratação dos solos, o que por sua vez implica a existência de alguma perturbação radiométrica, o que pode ser mal identificado como área ardida.

No quadro 2 apresentam-se os valores das áreas obtidas pelo levantamento com GPS e por deteção remota. Da análise dos valores obtidos podemos concluir que as áreas mais bem identificadas por deteção remota estão diretamente relacionadas com a intensidade do incêndio e não com a sua dimensão e a existência de áreas agrícolas ou urbanas na orla dos incêndios, tem interferência na qualidade do resultado.

Quadro 2 – Comparação das áreas ardidas levantadas por GPS e as áreas determinadas por deteção remota e o tipo de ocupação do solo

	Ferreira do Zêzere (11AGO17)	Tomar (12AGO17)	Tomar (05AGO17)
Área Ardida (GPS) ha	3323,8	545,2	22,0
Área Ardida classificada (DR) ha	2796,5	496,8	19,7
Exatidão %	84%	91%	89%
AA Coberto vegetal (DR) ha	2478,4	463,2	17,9
AA Coberto não vegetal (DR) ha	318,1	33,6	1,8
AA Coberto não vegetal (DR) %	11%	7%	9%



Considera-se ainda que a correta identificação das áreas ardidas, pode ser também influenciada pela velocidade com que o incêndio percorreu toda a área, com consequências na forma como a vegetação ficou carbonizada, sendo que no caso de Ferreira do Zêzere foi cerca de 48 horas, Tomar (12AGO17) foi cerca de 6 horas e Tomar (05AGO17) foi cerca de 3 horas. Verificou-se que nos incêndios onde ardeu maior área em menos tempo, os resultados da deteção remota aproximam-se mais das áreas levantadas por sistemas GNSS.

As áreas ardidas eram ocupadas maioritariamente por coberto vegetal onde se inclui todo o tipo de vegetação como floresta e matos, a área classificada como ardida na classe “coberto não vegetal”, foi, conforme já referido, menos bem identificada, pelo que reforça a ideia de que as áreas urbanas são determinantes para se obter um bom resultado da exatidão do mapa.

3. Conclusões

O estudo evidenciou que a deteção remota pode constituir uma mais valia para a validação de grandes áreas ardidas, onde o levantamento com recurso a sistemas GNSS seja muito demorado e dispendioso, devendo contudo, ser efetuadas mais análises com outras áreas de estudo.

Analisando os resultados obtidos verifica-se que existem vários fatores que influenciam a exactidão da identificação das áreas ardidas, como seja a aplicação de diferentes classificadores, o comportamento do incêndio com a existência de áreas em que ardeu tudo completamente e outras em que ficam as copas das árvores por arder. Tendo-se verificado ainda que as zonas de fronteira das áreas ardidas junto a áreas urbanas ou agrícolas, também são menos bem identificadas.

Comparando as áreas ardidas identificadas por deteção remota, a partir das imagens Sentinel 2A, com as obtidas por GPS, constata-se que à uma coincidência entre 84% e 91%. Por este facto, considera-se que na determinação de grandes áreas ardidas, esta pode ser realizada com recurso à deteção remota em complemento com o sistemas GNSS principalmente na interfase urbana, o que permitiria obter uma cartografia mais célere.

Referências Bibliográficas

- Copernicus Open Access Hub, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, consultada em 7 de julho de 2018;
- Fonseca, A.D.; Fernandes, J.C. (2004), Deteção remota, Lidel-Edições Técnicas, Lda., Lisboa;
- Lei n.º 76/2017 de 17 de agosto, Diário da República n.º 158/2017, Série I de 2017-08-17, páginas:4734 – 4762;
- Navarro, G.; Caballero, I.; Silva, S.; Parra, P.; Vázquez, A.; Caldeira, C.; (2017), Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery, Elsevier, 97-106;
- Rocha, R.; Lourenço, L.; Gonçalves, G. R.; (2014), Uso de sensores remotos como ferramenta para mapeamento de áreas queimadas por incêndios florestais: o exemplo do município de Oliveira do Hospital no ano de 2013, pombalina.uc, 159-163;
- SARAIVA, C.; NAVARRO, A.;(2015), Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para Identificação de Culturas Agrícolas;
- Stabilel, M. C. C; L. A. Balastreirell, (2006), Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. Engenharia Agrícola, Jaboticabal Jan./Apr, vol.26, no.1
- SENTINEL-2 User Handbook(2015) - https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook/, consultada a 29 de julho;



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS

20
18 ano de
das alterações
climáticas

Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-2A como ferramenta de apoio à Guarda Nacional Republicana (GNR), para a determinação de áreas ardidas

Vasco Lopes (Instituto Politécnico de Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar)

Marina Abreu (Instituto Politécnico de Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar)

Luísa Gonçalves (Câmara Municipal de Leiria; INESC Coimbra)

IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia